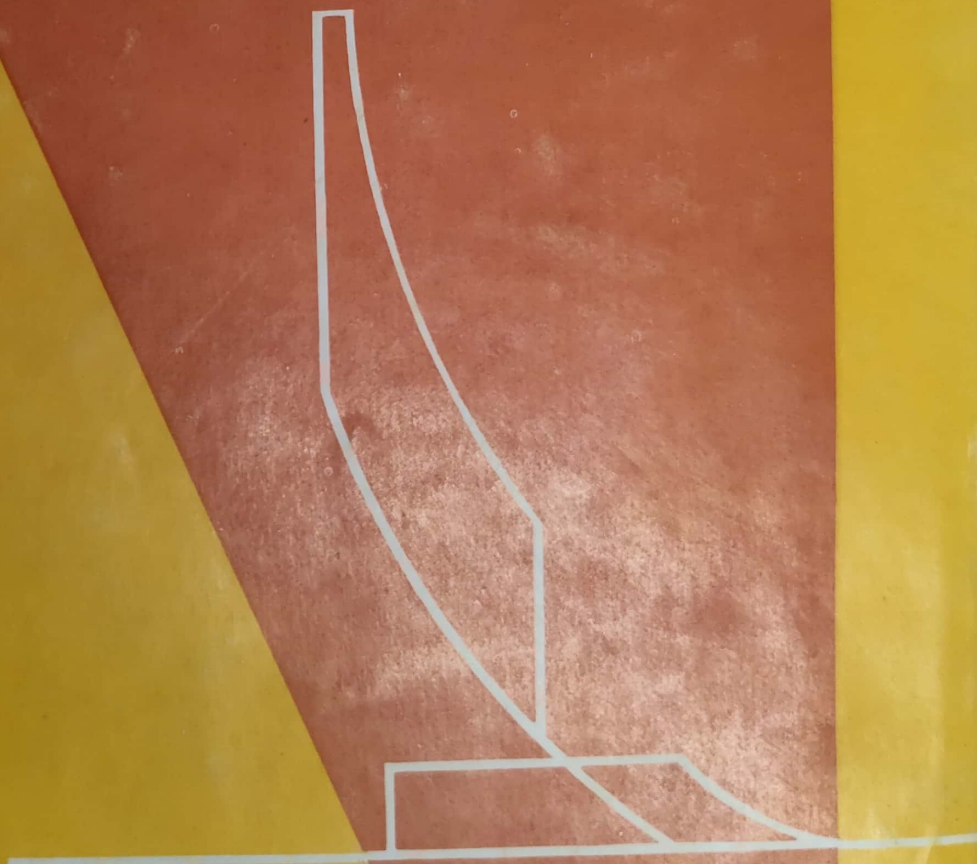
AL. DĂNESCU D. ȘTEFĂNESCU D. SFINȚEANU
M. MARINESCU I. GANEA S. PETRESCU

LEXICON DE TERMODINAMICĂ ȘI MAȘINI TERMICE

Vol. II



Editura Tehnică

Scanned with OKEN Scanner

LEXICON
DE TERMODINAMICĂ ȘI MAȘINI TERMICE

VOL. II F–N

Coordonatori:

ALEXANDRU DĂNESCU, DAN ȘTEFĂNESCU, DRAGOȘ SFINȚEANU,
MIRCEA MARINESCU, IOAN GANEA, STOIAN PETRESCU

BIBLIOTECA JUDEȚEANĂ
„GH ASACHI"
IAȘI

519.324

EDITURA TEHNICĂ ● BUCUREȘTI, 1987

Scanned with OKEN Scanner

F

FACTOR DE CONVERSIE. Valoare numerică, folosită pentru transformarea unității de măsură a unei mărimi fizice dintr-un sistem de unități de măsură în altul. În relațiile ce leagă mărimi de diferite dimensiuni, în care toate sau cîteva sînt exprimate în unități aparținînd diverselor sisteme, trecerea în unul din sistemele de unități (de regulă SI) se face prin înlocuirea simbolurilor mărimilor fizice din formule, cu aceleași simboluri din sistemul respectiv, împărțite cu factorii de conversie ai unităților inițiale în unitățile sistemului adaptat (SI). În tabelul F.1 sînt dați factorii de conversie ai unor unități de măsură în sistemul SI.

Tabelul F.1

Relații de conversie în SI pentru unități de măsură care nu fac parte din SI

Nr. crt.	Mărimea	Unitatea de măsură		
		Denumire	Simbol	Relația de conversie în unitatea SI
0	1	2	3	4
		I. Unități ale mărimilor de spațiu și timp		
1	Lungime	ängström	Å	1 Å=1×10^{-10} m
		micron	μ	1 μ=1×10^{-6} m
		inch	in	1 in=25,4×10^{-3} m
		foot	ft	1 ft=0,3048 m
		yard	yd	1 yd=0,9144 m
		mile	—	1 mile=1,609344×10^{3} m
		an lumină	a.l	1 a.l=9,460×10^{15} m
2	Volum, capacitate	ster	st	1 st=1 m^3
		UK gallon	UKgal	1 UKgal=4,54609×10^{-3}m^3
		US gallon	USgal	1 USgal=3,78541×10^{-3}m^3
3	Viteză	kilometru pe oră	km/h	1 km/h=0,277778 m/s
4	Accelerație	gal	Gal	1 Gal=0,01 m/s^2
		II. Unități ale mărimilor caracteristice mecanicii		
1	Masă	quintal	q	1 q=100 kg
		pound	lb	1 lb=0,45359237 kg
2	Densitate	pound per cubic inch	lb/in^3	1 lb/in^3=27,6799 kg/m^3
		pound per cubic foot	lb/ft^3	1 lb/ft^3=16,0185 kg/m^3
3	Debit de volum	metru cub pe oră	m^3/h	1 m^3/h=2,77778×10^{-4} m^3/s
		litru pe oră	l/h	1 l/h=0,277778×10^{-6} m^3/s
4	Forță	dynă	dyn	1 dyn=1×10^{-5} N
		kilogram forță	kgf	1 kgf=9,80665 N
		pound-force	lbf	1 lbf=4,44822 N

Scanned with OKEN Scanner

0	1	2	3	4
5	Presiune	kilogram forță pe centimetru pătrat	kgf/cm²	1 kgf/cm²=9,80665×10⁴ Pa
		milimetru coloană de mercur (torr)	mmHg	1 mmHg (Torr)=133,322 Pa
		milimetru coloană de apă	mmH_2O	1 mmH_2O=9,80665 Pa
		atmosferă fizică	atm	1 atm=101,325×10³ Pa
		atmosferă tehnică	at	1 at=9,80665×10⁴ Pa
6	Viscozitate dinamică	poise	P	1 P=0,1 Pa·s
		centipoise	cP	1 cP=1×10⁻³ Pa·s
7	Viscozitate cinematică	stokes	St	1 St=1×10⁻⁴ m²/s
		centistokes	cSt	1 cSt=1×10⁻⁶ m²/s
8	Energie, lucru mecanic	erg	erg	1 erg=1×10⁻⁷ J
		kilogram forță-metru	kgf·m	1 kgf·m=9,80665 J
		kilowatt-oră	kWh	1 kWh=3,600×10⁶ J
		cal putere-oră	CP.h	1 CP·h=2,6478×10⁶ J

III. Unități ale mărimilor caracteristice electromagnetismului

1	Intensitatea cîmpului magnetic	oersted	Oe	1 Oe=(1000/4π) A/m
2	Inducție magnetică	gauss	Gs	1 Gs=10⁻⁴ T
3	Flux magnetic	maxwell	Mx	1 Mx=10⁻⁸ Wb

IV. Unități ale mărimilor caracteristice căldurii și chimiei fizice

1	Temperatura termodinamică	grad Fahrenheit	°F	1°F=(5/9) K=0,55556 K
		grad Réaumur	°R	1°R=(5/4) K=1,25 K
				T=(5/9) (t_F−32)+273,15= =(5/4) t_R+273,15
2	Cantitate de căldură	calorie la 15°C	cal_{15}	1 cal_{15}=4,1855 J
		calorie (calorie internațională)	cal (cal) IT	1 cal=4,1868 J
		British thermal unit	Btu	1 Btu=1,05506×10³ J
3	Flux termic	kilocalorie pe oră	kcal/h	1 kcal/h=1,163 W
		British thermal unit per hour	Btu/h	1 Btu/h=0,293071 W
4	Coeficient de transfer termic	kilocalorie pe metru pătrat-oră-kelvin	kcal/m²·h·K	1 kcal/m²·h·K=1,163 W/m²·K
		British thermal unit per square foot-hour-degree Fahrenheit	Btu/ft²·h·°F	1 Btu/ft²·h·°F=5,6782 W/m²·K
5	Capacitate termică, masică, entropie masică	kilogram forță-metru pe kilogram-kelvin	kgf·m/kg·K	1 kgf·m/kg·K=9,80665 J/kg·K
		British thermal unit per pound degree Fahrenheit	Btu/lb·°F	1 Btu/lb °F=4,1868×10³ J/kg·K
6	Energie masică (specifică)	kilocalorie pe kilogram	kcal/kg	1 kcal/kg=4,1868 J/kg
		British thermal unit per pound	Btu/lb	1 Btu/lb=2,326×10³ J/kg

FACTOR DE CORECȚIE (TERMIC). Mărime utilizată pentru determinarea diferenței medii de temperatură în cazul schimbătoarelor de căldură cu scheme de curgere a fluidelor complexe (curent încrucișat sau curent mixt), diferite de curgerea în fluxuri paralele (echicurent sau contracurent). Se folosește, de regulă, ca factor de corecție (notat cu ε) aplicat diferenței medii logaritmice de tempera-

Scanned with OKEN Scanner

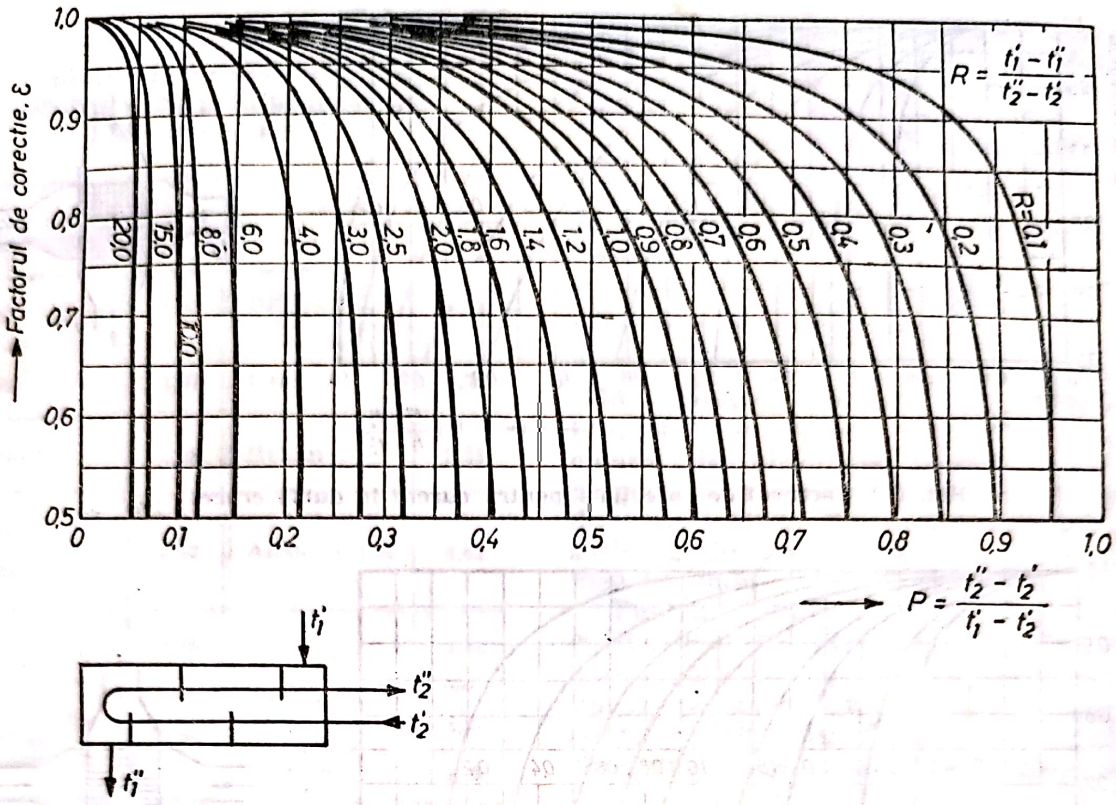


Fig. F.1. Factorul de corecție ε pentru încrucișare simplă.

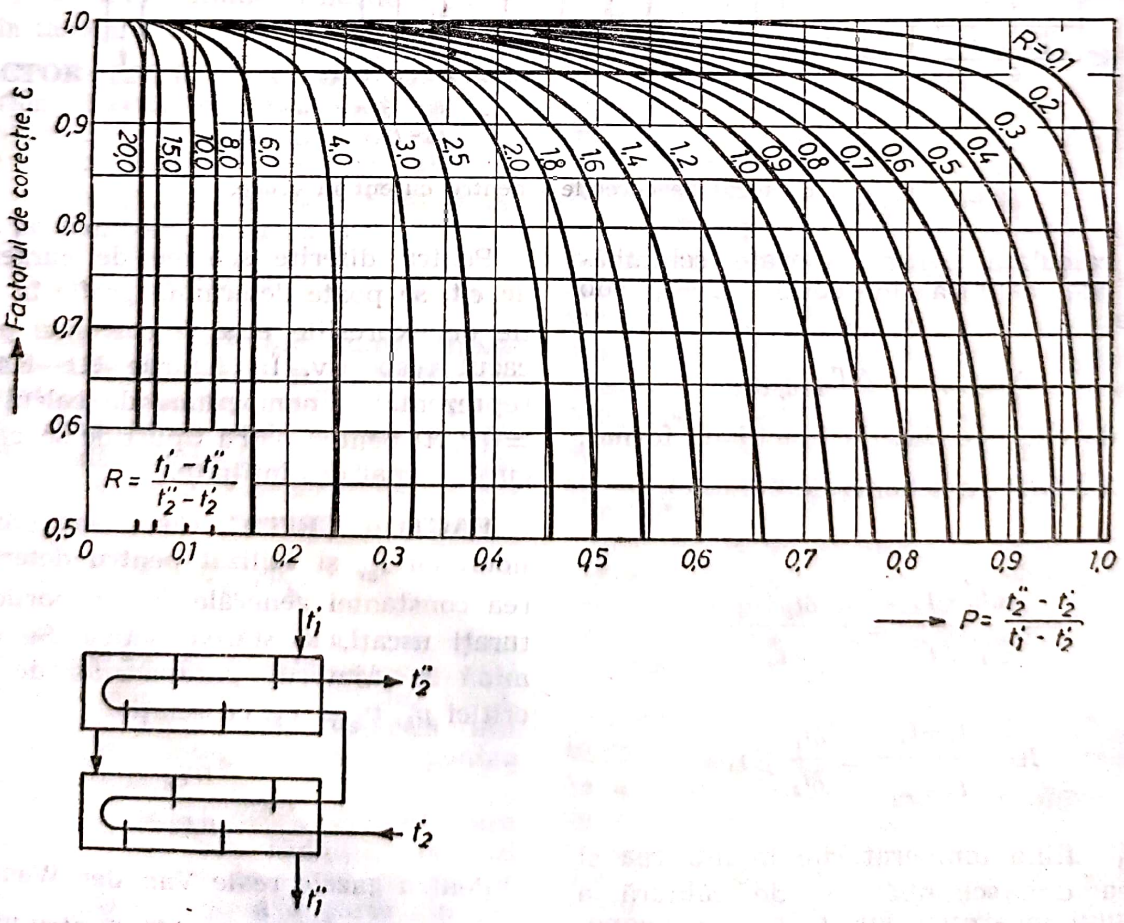


Fig. F.2. Factorul de corecție ε pentru încrucișare dublă.

Scanned with OKEN Scanner

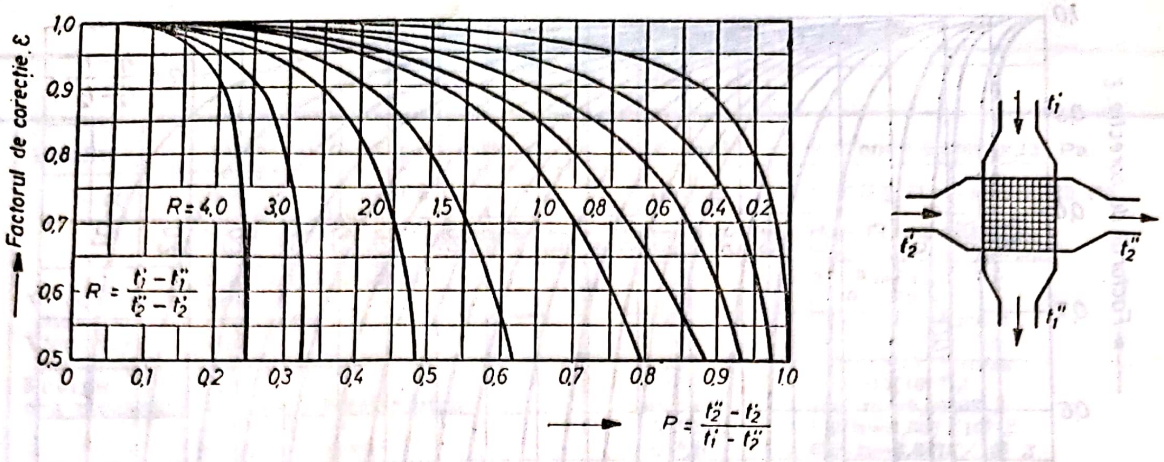


Fig. F.3. Factorul de corecția ε pentru curent în dublă cruce.

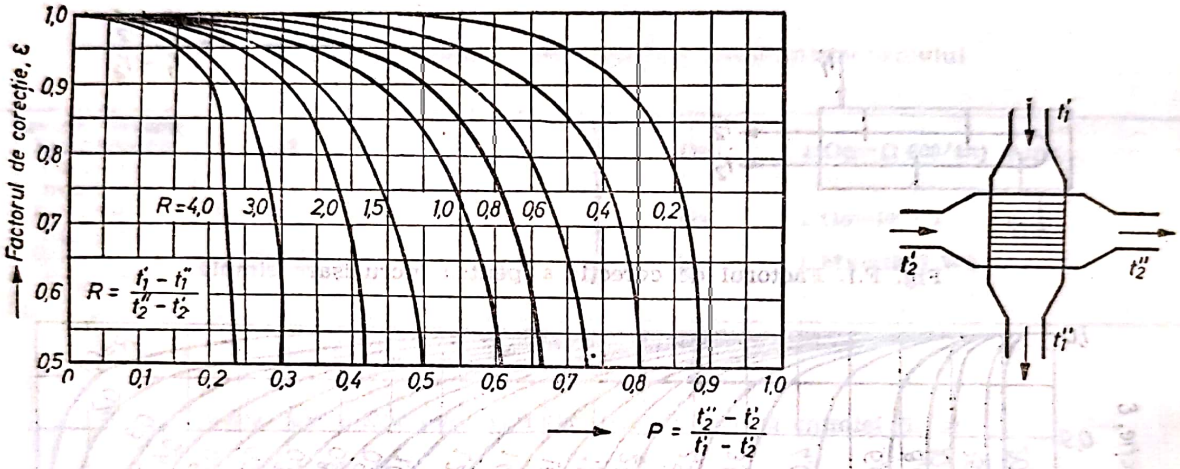


Fig. F.4. Factorul de corecție ε pentru curent în cruce.

tură calculată pentru aparate schimbătoare de căldură în contracurent, sub forma:

$$\Delta T_{med} = \varepsilon \cdot \Delta T_{med,\ c.c.}$$

F. de c.t. este dat de funcții de forma:

$$\varepsilon = f\ (P,\ R,\ \text{schema de curgere}),$$

unde:

$$P = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_2'} = \frac{\delta t_2}{t_1' - t_2'} \leqslant 1;$$

$$R = \frac{t_1' - t_1''}{t_2'' - t_2'} = \frac{\delta t_1}{\delta t_2} \lesseqgtr 1,$$

t_1', t_1'' fiind temperaturile la intrarea și ieșirea din schimbătorul de căldură a fluidului încălzitor, iar t_2', t_2'' — temperaturile fluidului încălzit.

Pentru diferite scheme de curgere, f. de c.t. se poate determina grafic în funcție de expresiile P și R calculate pentru cazul respectiv. În figurile F.1—F.4 sînt reprezentate nomograme de calcul $\varepsilon = f(P, R)$ pentru patru tipuri de scheme de curgere mai des întîlnite.

FACTOR CRITIC. Coeficient numeric, notat cu f_{cr} și utilizat pentru determinarea constantei generale R a vaporilor saturați uscați, la starea critică. Se determină cu ajutorul parametrilor de stare critici p_k, v_k și T_k, cu relația:

$$f_{cr} = \frac{RT_k}{p_k v_k}$$

Pentru gazele reale Van der Waals f.c. are valoarea $f_{cr} = \frac{8}{3} \approx 2{,}667$. Pentru vaporii

Tabelul F.2

Valorile factorului critic f_{cr} pentru vaporii saturați uscați la starea critică

Natura fluidului	f_{cr}	Natura fluidului	f_{cr}
Neon	3,26	Bioxid de sulf	3,60
Heliu	3,27	Pentan	3,76
Hidrogen	3,28	Hexan	3,83
Azot, oxigen, argon	3,43	Alcool etilic	4,02
Metan, etan	3,45	Apă	4,46
Oxid și bioxid de carbon	3,55	Alcool metilic	4,55
		Benzen	4,99

saturați ai altor fluide valorile f_{cr} sînt date în tabelul F.2.

FACTOR ENERGETIC DE ABSORBȚIE. (Sin.: Factor de absorbție). Mărime adimensională echivalentă cu raportul dintre fluxul energetic total Φ_a absorbit de un corp și fluxul energetic total Φ incident pe acel corp, notat cu A:

$$A=\Phi_a/\Phi.$$

Dacă se iau în considerare numai fluxurile energetice absorbite și incidente corespunzătoare energiei oscilațiilor cu o anumită lungime de undă λ sau cu lungime de undă cuprinsă între λ și $\lambda+d\lambda$, se obține **f. e. de a.** monocromatic, notat cu A_λ:

$$A_\lambda=\Phi_{a\lambda}/\Phi_\lambda.$$

Conform primei legi a lui Kirchhoff, **f.e. de a.** este numeric egal cu factorul energetic de emisie, $\varepsilon=A$. Legea lui Kirchhoff este valabilă atît pentru radiația integrală, cît și pentru cea monocromatică.

În cazul *corpului negru absolut*, care absoarbe în întregime radiațiile ce cad asupra lui, $A=1$, iar în cazul *corpurilor cenușii*, ce absorb numai o parte din radiații, în tot intervalul de lungimi de undă, $A<1$. Pentru corpurile și materialele tehnice reale, considerate cu o anumită aproximație corpuri cenușii, **f.e. de a.** depinde de temperatură, de natura corpului și de starea suprafeței.

Capacitatea de absorbție a radiațiilor monocromatice cu lungimi de undă λ de către un corp poate fi estimată cu legea lui P. Buger, exprimată prin relația:

$$A_\lambda=1-e^{-k_\lambda\cdot S}$$

unde: S este distanța pe care este absorbită radiația, măsurată pe direcția de propagare a acesteia [m]; k_λ — coeficientul de absorbție specific substanței respective, a cărui valoare [m^{-1}] depinde de proprietățile fizice ale sistemului absorbant, de temperatura sa și de lungimea de undă.

Pentru majoritatea corpurilor solide și a lichidelor în strat gros, k_λ are o valoare mare și din această cauză absorbția se produce într-un strat superficial relativ subțire, **f.e. de a.** respectiv depinzînd numai de natura și calitatea suprafeței.

În stare gazoasă, corpurile au „transparență“ foarte mare pentru radiațiile termice și ca urmare absorbția are loc în volum, **f.e. de a.** depinzînd de grosimea stratului și densitatea gazului (care se exprimă de obicei prin presiunea parțială la care el se găsește). Pentru descrierea caracterului volumic al absorbției radiațiilor de către gaze, se utilizează și factorul spectral de radiație a_υ, care reprezintă micșorarea relativă a intensității spectrale de radiație pe unitatea de lungime a drumului parcurs de radiație. Mărimea a_υ pentru o anumită frecvență depinde, de asemenea, de natura gazului, temperatura și presiunea sa. Valorile lui a_υ diferă pentru diversele benzi de absorbție. În afara acestor benzi, gazul este diaterm și $a_\upsilon=0$.

F.e. de a. al gazelor rezultate din arderea combustibilului convențional, în cazul schimbului de căldură prin radiație cu o suprafață solidă se poate determina cu relația:

$$A_{g,p}=A_{CO_2}+A_{H_2O}=\varepsilon_{CO_2}(T_g/T_p)^{0,65}+\beta\varepsilon_{H_2O},$$

unde: A_{CO_2}, A_{H_2O}, ε_{C_2O}, ε_{H_2O} sînt **f.e de a.**, respectiv de emisie ale dioxidului de carbon și vaporilor de apă din gazele arse; β — un coeficient de corecție care ține seama de influența presiunii parțiale a vaporilor de apă și de grosimea stratului de gaz; T_g, T_p — temperaturile gazelor și peretelui solid.

Scanned with OKEN Scanner

FACTOR ENERGETIC DE EMISIE. (Sin.: **Factor de emisie; Coeficient sau grad de negreală).** Mărime adimensională, notată cu ε, ce exprimă cît reprezintă puterea totală de emisie E a unui *corp cenușiu,* avînd o temperatură oarecare T, din puterea totală de emisie E_0 a *corpului negru absolut* aflat la aceeași temperatură:

$$\varepsilon = E/E_0.$$

Conform primei legi a lui Kirchhoff raportul dintre puterea de emisie a radiației proprii a unui corp cenușiu și factorul energetic de absorbție (A) nu depinde de natura corpului și este egal cu puterea de emisie a corpului negru la aceeași temperatură, $E/A = E_0$; rezultă că numeric, **f.e. de e.** este egal cu factorul energetic de absorbție,

$$\varepsilon = A.$$

Exprimînd puterea de emisie cu ajutorul legii lui Stefan-Boltzmann, **f.e. de e.** se poate prezenta ca raportul dintre coeficienții de radiație ai corpului cenușiu (C) și ai corpului negru (C_0):

$$\varepsilon = C(T/100)^4/C_0(T/100)^4 = C/C_0,$$

unde $C_0 = 10^8 \cdot \sigma_0 = 5{,}669$ W/m^{2}K^4, σ_0 fiind constanta Stefan-Boltzmann.

Un *corp cenușiu* radiază cu atît mai multă energie, cu cît **f.e de e.** este mai mare. Valorile **f.e. de e.** se determină experimental și sînt cuprinse între 0 și 1 (valoarea 1 reprezentînd **f.e. de e.** al corpului negru). Analiza valorilor **f.e. de e.** evidențiază faptul că o serie de materiale au proprietățile emisive apropiate de cele ale corpului negru, chiar dacă au culori diferite: gheață, sticlă, cărămidă roșie, negru de fum, azbest etc. În cazul metalelor, se constată că **f.e. de e.** crește cu creșterea temperaturii; pentru suprafețele metalice lustruite valorile **f.e. de e.** sînt mici, iar prin oxidare valorile cresc. Pentru suprafețele nemetalice valorile **f.e. de e.** sînt mai mari decît pentru metale și variază invers proporțional cu temperatura.

În cazul corpurilor gazoase, fenomenul de emisie a radiațiilor termice are loc în volum, astfel că **f.e. de e.** depinde de grosimea stratului de gaz l, de presiunea parțială a gazelor componente p_i și de temperatura T. Gazele monoatomice nu emit și nu absorb radiații termice, cele biatomice, cu molecule simetrice (O_2, N_2, ...) emit și absorb numai la temperaturi foarte mari ($T > 5\,000$ K), iar cele biatomice cu molecule nesimetrice (CO, HCl, ...) emit radiații și la temperaturi mai mici, dar cu intensități foarte slabe. Gazele triatomice, prezente, de regulă, în gazele de ardere (CO_2 și H_2O) au în schimb proprietăți radiante însemnate, emisia avînd loc pe anumite benzi de lungimi de undă, amplasate în diverse porțiuni ale spectrului. Pentru lungimi de undă în afara acestor benzi, energia de radiație a gazelor respective este nulă.

Calculul **f.e. de e.,** ε_g, în cazul unui amestec de gaze de ardere, neluminoase (compuse din O_2, N_2, CO_2 și H_2O), se poate face cu relația de mai jos (O_2 și N_2 nu emit și nu absorb radiații):

$$\varepsilon_g = \varepsilon_{CO_2} + \beta\varepsilon_{H_2O} - \Delta\varepsilon_g$$

unde: ε_{CO_2} și ε_{H_2O} sînt **f.e. de e.** ai dioxidului de carbon și respectiv ai vaporilor de apă; β — un coeficient de corecție ce ia în considerare influența presiunii parțiale a vaporilor de apă asupra **f.e. de e.** ($\beta = 1 \ldots 1{,}6$); $\Delta\varepsilon_g$ — coeficient de corecție ce ține seama de suprapunerea parțială a benzilor de lungimi de undă ale radiațiilor CO_2 și H_2O, adică de faptul că energia radiată de CO_2 este parțial absorbită de H_2O și invers.

În figurile F.5, F.6, F.7 și F.8 sînt prezentate nomogramele de calcul pentru ε_{CO_2}, ε_{H_2O}, β și $\Delta\varepsilon_g$.

În cazul flăcărilor luminoase, în care sînt prezente particule de carbon incandescente, radiația este mult mai puternică decît a gazelor triatomice, iar **f.e. de e.** depinde de un număr mare de parametrii: natura combustibilului, sistemul de ardere, geometria focarului, temperatura flăcării ș.a. Orientativ, în tabelul F.3 sînt date valori ale **f.e. de e.** ε_f al flăcărilor realizate cu diverși combustibili.

FAHRENHEIT (Scară de temperatură). Scară de temperaturi, avînd reperul inferior (de înghețare a apei) la gradația 32 °F și cel superior la gradația 212 °F, fiind divizată în 180 părți egale. Reperele corespund temperaturii la care se află un amestec, în echilibru, de gheață și apă la presiunea atmosferică de 760 mmHg (gradația 32), respectiv temperaturii vaporilor apei care fierbe la aceeași presiune (gradația 212). În grade termometrice Fahrenheit, temperatura gheții care se topește este de 32 °F, iar a apei care fierbe de 212 °F. Această scară de temperaturi se utilizează în S.U.A., Anglia, Canada etc. Între scările de temperatură Celsius și F. există relația:

$$1\ ^\circ\text{C} = 1{,}8\ ^\circ\text{F}.$$

În figura F.9 sînt date unele temperaturi uzuale exprimate pe scara **F.**

Scanned with OKEN Scanner

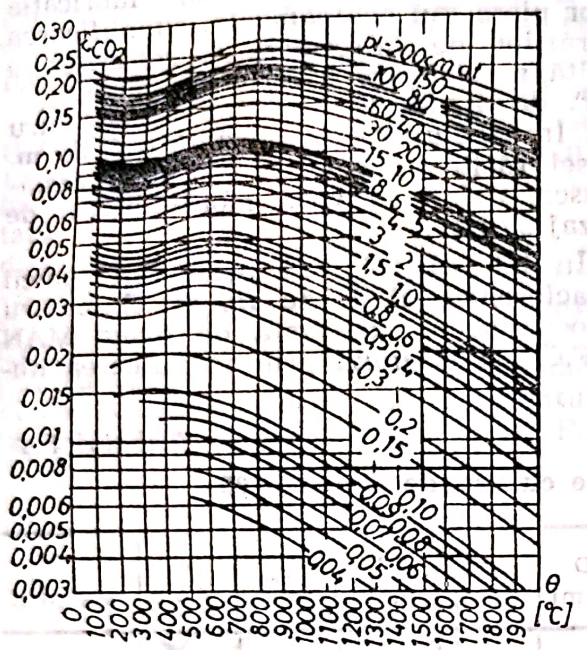


Fig. F.5. Factorul energetic de emisie ε_{CO_2} pentru CO_2

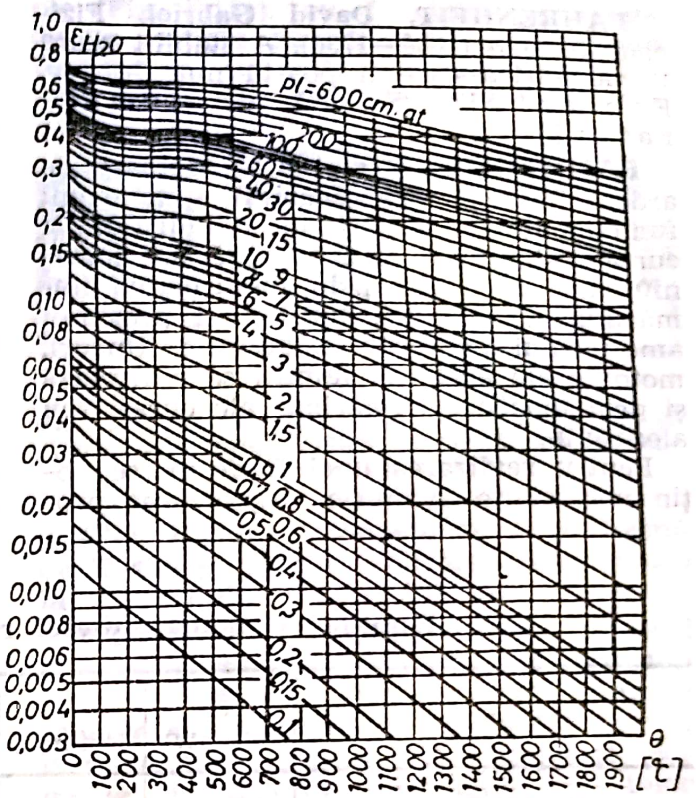


Fig. F.6. Factorul energetic de emisie ε_{H_2O} pentru H_2O vapori.

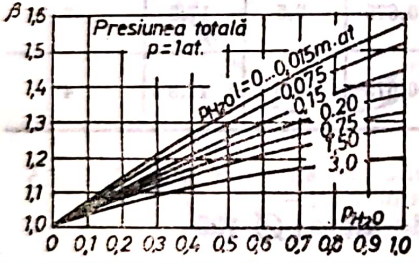


Fig. F.7. Factorul de corecție β pentru amestec de CO_2 și H_2O vapori.

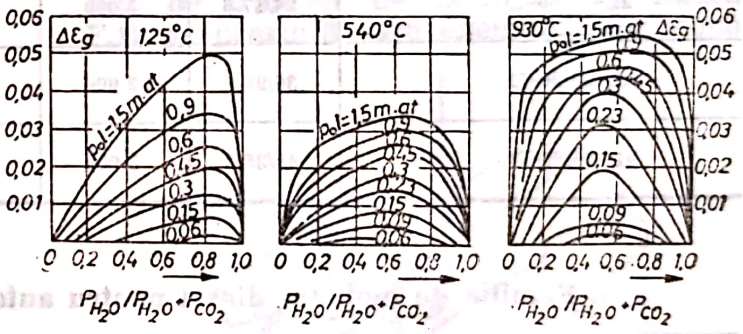


Fig. F.8. Factorul de corecție $\Delta\varepsilon_g$ pentru amestec de CO_2 și H_2O vapori la diferite temperaturi.

Tabelul F.3

Natura flăcării	ε_f
Flacără slab luminoasă de gaze și flacără de antracit la arderea în strat	0,40
Flacără luminoasă de antracit praf	0,45
Flacără luminoasă de cărbune inferior	0,60
Flacără de cărbune brun sub formă de praf	0,70
Flacără de păcură	0,85

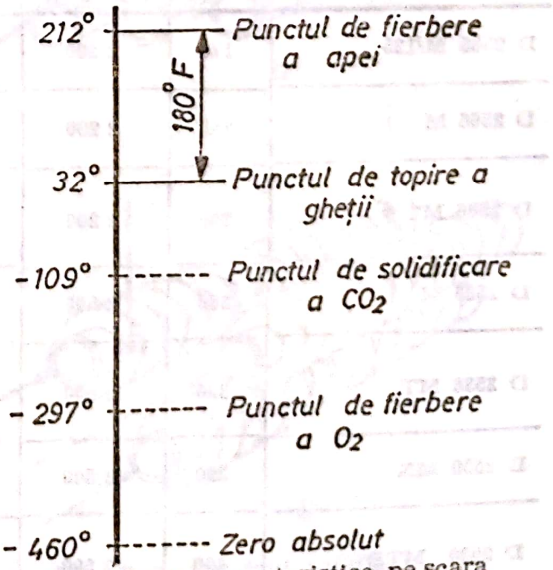


Fig. F.9. Puncte caracteristice pe scara de temperatură Fahrenheit.

Scanned with OKEN Scanner

FAHRENHEIT, David Gabriel. Fizician german (1686—1736). A stabilit scara termometrică care îi poartă numele [v. Fahrenheit (Scară de temperatură)].

FAMILIE DE MOTOARE. Motoare cu ardere internă cu aceleaşi dimensiuni fundamentale (diametrul cilindrului şi cursa pistonului), care acoperă un domeniu larg de puteri prin modificarea numărului de cilindri, turaţiei şi presiunii amestecului proaspăt la admisie. Uneori, motoare ale aceleiaşi familii se realizează şi prin modificări restrînse ale cursei sau alezajului.

Pentru realizarea unei **f. de m.** se obţin mai multe avantaje: organizarea producţiei de serie mare la un număr însemnat de piese şi ansamble, comune tuturor motoarelor (piston, ax piston, bielă, cuzineţi, cilindri, supape, injector), prin specializarea unor uzine în fabricaţia unor piese sau echipamente; simplificarea lucrărilor de întreţinere şi reparaţii; o înaltă specializare a forţei de muncă.

F. de m. au la bază un monocilindru tip. În tabelul F.4 se prezintă o **f. de m.** diesel răcite cu aer, de concepţie românească, avînd la bază monocilindrul de alezaj 95 mm.

În tabelul F.5 sînt prezentaţi indicii caracteristici ai **f. de m.** diesel pentru autocamioane, realizată de firma MAN (R.F.G.) şi obţinută prin modificarea nu-

Tabelul F.4

Familia de motoare diesel răcite cu aer, de alezaj ∅ 95

Model	P_e [CP/kW]	n [rot/min]	D [mm]	s [mm]	V_s [dm³]	w_{p_m} [m/s]	P_L [CP/l]	i (cilindri)
1L-95/95-D	12/8,8	3 000	95	95	0,675	9,5	17,8	1
2L-95/95-D	24/17,6	3 000	95	95	0,675	9,5	17,8	2
3L-95/95-D	36/26,5	3 000	95	95	0,675	9,5	17,8	3
4L-95/95-D	48/35,3	3 000	95	95	0,675	9,5	17,8	4

Tabelul F.5

Familia de motoare diesel pentru autocamioane, de alezaj ∅ 125

Model	P_e [CP]	n [rot/min]	D [mm]	s [mm]	V_s [dm³]	w_{p_m} [m/s]	P_L [CP/l]	i —	Felul admisiei
D 2565 M/125	170	2 200	125	155	1,9	11,4	17,9	5	naturală
D 2566 M	240	2 200	125	155	1,9	11,4	21,0	6	naturală
D 2566 MT	280	2 200	125	155	1,9	11,4	24,5	6	supraalimentare
D 2538 M	256	2 500	125	130	1,6	10,8	20,0	8	naturală
D 2538 MT	320	2 500	125	130	1,6	10,8	25,0	8	supraalimentare
D 2530 MX	320	2 500	125	130	1,6	10,8	20,0	10 V	naturală
D 2530 MTE	400	2 500	125	130	1,6	10,8	25,0	10 V	supraalimentare

Scanned with OKEN Scanner

mărului de cilindri, turației și presiunii de admisie și diferențierea cursei pistonului.

FANTĂ. Tăietură practicată în segmenții mașinilor termice cu piston și în mantaua pistonului cu scopul de a conferi elasticitate acestor piese.

F. segmentului se numește curent **rost** și reprezintă distanța dintre capetele segmentului. În starea liberă a segmentului **f.** este mai mare decît în stare montată, pentru asigurarea unei presiuni radiale uniforme, necesare realizării contactului ferm dintre segment și oglinda cilindrului. Valoarea **f.** în stare montată trebuie astfel aleasă, încît la cald, în timpul funcționării, să se evite contactul dintre capetele libere ale segmentului, iar etanșarea să fie eficientă (Fig. F.10).

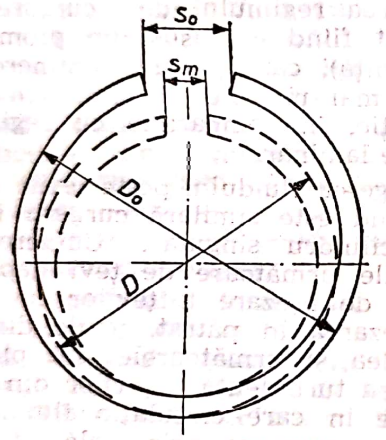


Fig. F.10. Fanta unui segment; s_m — la montaj; s_0 — în timpul funcționării.

Experiențele arată că scăpările de gaze din cilindru către carterul mașinilor termice cu piston nu sînt practic influențate de poziția **f.** pe piston, chiar dacă toate **f.** sînt pe aceeași generatoare (alinierea segmenților). De aceea, la motoarele cu ardere internă în patru timpi nu se asigură segmenții împotriva rotirilor; la motoarele în doi timpi **f.** nu trebuie să cadă în dreptul luminilor de baleiaj sau evacuare, motiv pentru care se împiedică rotirea segmentului prin știfturi dispuse în canalele de segmenți din piston. Măsurînd **f.** segmenților în stare montată se poate aprecia uzura acestora după un anumit număr de ore de funcționare.

F. pistonului (Fig. F.11) asigură elasticitatea mantalei și preluarea la cald a dilatărilor acestuia. Mantaua poate fi prevăzută în lungul ei, cu **f.** oblice simple (**Fig. F.11a**), cu **f.** oblice terminate cu un orificiu care înlătură concentrarea tensiunilor și evită rizarea cilindrului (**Fig. F.11b**) sau cu **f.** în formă de T sau

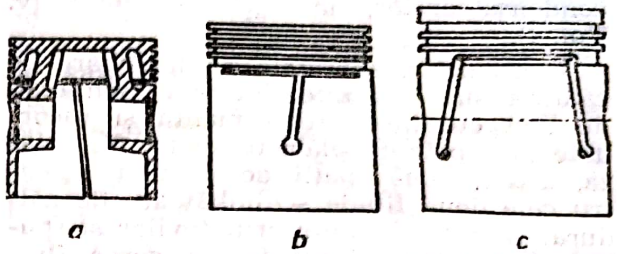


Fig. F.11. Fanta pistonului; *a* — fantă simplă oblică; *b* — fantă oblică cu descărcare de tensiuni; *c* — fanta în π.

π (**Fig. F.11c**). Pistoanele cu **f.** în formă de T sau π permit realizarea unor jocuri la montaj de 0,024—0,036 mm.

FASCICUL TUBULAR. Sistem de țevi drepte, curbe sau formate din porțiuni drepte și curbe, dispuse după anumite scheme și racordate la un distribuitor și la un colector comun. **F.t.** reprezintă elemente de bază în construcția aparatelor schimbătoare de căldură, a condensatoarelor și cazanelor, ele constituind suprafața de transfer de căldură. În figura F.12 se prezintă spre exemplificare, două

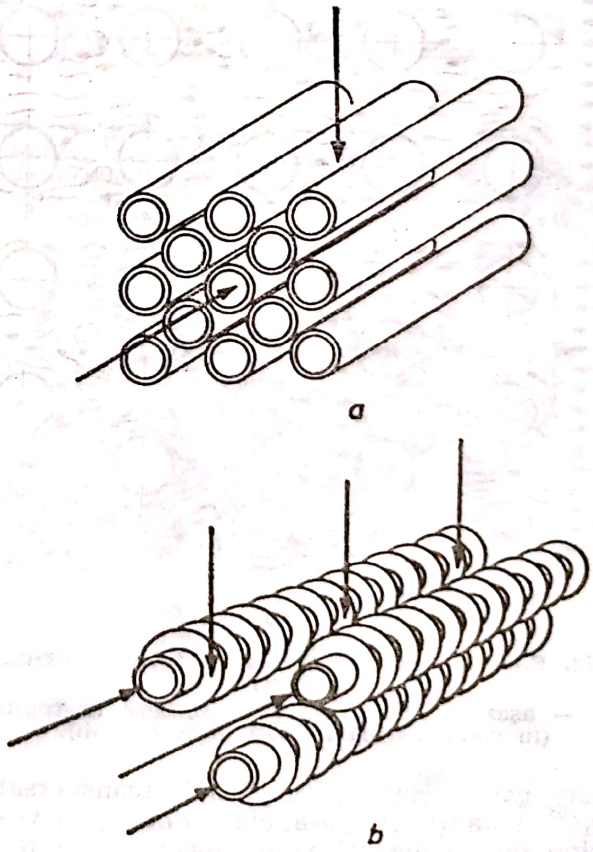


Fig. F.12. Fascicul tubular: *a* — cu țevi drepte; *b* — cu țevi cu aripioare.

Scanned with OKEN Scanner

tipuri de f.t.: cu ţevi netede şi cu ţevi cu aripioare.

F.t. ale cazanelor de abur sînt de tipul prezentat la „Cazan" (v. Vol. I), iar ale condensatoarelor, la „Condensator" (v. Vol. I).

Constructiv, aparatele schimbătoare de căldură sînt realizate dintr-un mănunchi de ţevi cuprinse într-o manta şi racordate la capete cu plăci tubulare. Se creează, astfel, două spaţii de circulaţie pentru cele două fluide schimbătoare de căldură: spaţiul din interiorul ţevilor şi spaţiul dintre ţevi şi manta. Curgerea fluidelor în spaţiul dintre ţevi se face normal pe fasciculul de ţevi, paralel cu axele ţevilor şi cel mai frecvent, oblic.

Dispunerea ţevilor în fascicul se poate face în mai multe moduri, două fiind frecvent utilizate în practică: fascicul cu dispunerea paralelă (aşezare în pătrat) a ţevilor şi fascicul cu dispunerea alternantă (aşezare în romb) a ţevilor, aşa cum se arată în figura F.13. Fasciculul de ţevi

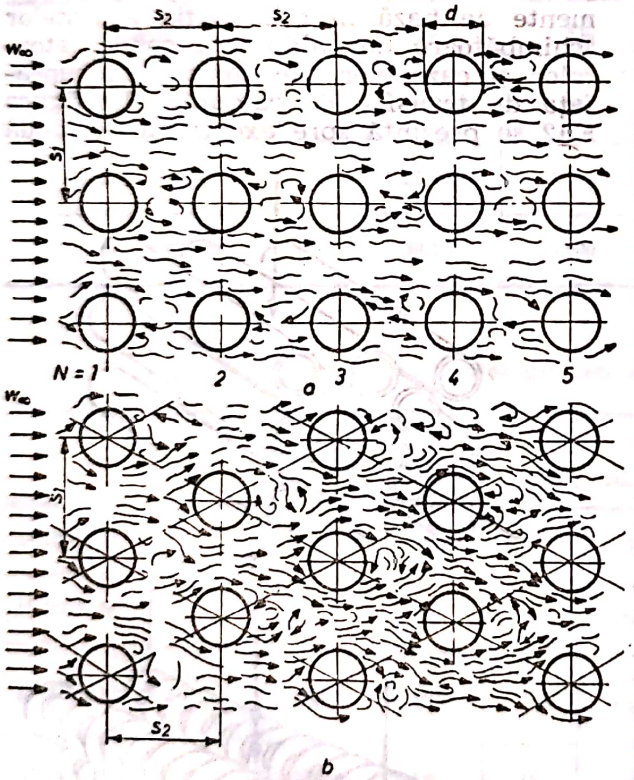


Fig. F.13. Sisteme de aşezare a ţevilor într-un fascicul:
a — aşezare în pătrat; *b* — aşezare în romb (în rînduri decalate sau tablă de şah).

este caracterizat prin pasul transversal s_1/d (distanţa dintre axele a două ţevi vecine de pe acelaşi rînd, măsurată în direcţie normală pe direcţia de curgere, raportat la diametrul ţevii), pasul longitudinal s_2/d (distanţa dintre axele a două rînduri vecine pe ţevi, măsurată în direcţia curgerii fluidului, raportat la diametrul ţevii), diametrul exterior d al ţevilor, modul de dispunere a ţevilor în fascicul şi prin numărul N de rînduri de ţevi în direcţia curgerii fluidului. Pentru un fascicul cu ţevi aşezate în pătrat mărimile s_1/d; s_2/d au aceeaşi valoare.

Pasul minim pentru aparate tubulare, cu ţevile montate într-o placă tubulară este $s/d=(1{,}20 \ldots 1{,}22)$, impus de condiţiile de rezistenţă mecanică a plăcii tubulare. În practică, se foloseşte în mod curent $s/d=(1{,}25 \ldots 3)$.

Curgerea fluidului peste un fascicul de ţevi este complexă, datorită influenţei reciproce a ţevilor vecine, diferind astfel de curgerea peste un cilindru singular. În aplicaţiile practice, se caută realizarea regimului de curgere turbulent (**f.t.** fiind el însuşi un promotor de turbulenţă), care permite obţinerea unor valori mai ridicate ale coeficientului de convecţie, în comparaţie cu regimul de curgere laminar.

Curgerea fluidului peste ţevile din primul rînd este similară curgerii în jurul unui cilindru singular. Curgerea peste rîndurile următoare de ţevi depinde de modul de aşezare a ţevilor în fascicul. La aşezarea în pătrat, ţevile din rîndul al doilea şi următoarele sînt plasate în regiunea turbulentă a ţevilor din amonte, regiune în care circulaţia fluidului este redusă, curgerea principală făcîndu-se prin culoarele dintre ţevi. Datorită acestui fapt, atît partea din faţă, cît şi cea din spate a ţevilor aşezate paralel sînt mult mai puţin afectate de curgerea fluidului în comparaţie cu cilindrul singular sau cu ţevile din primul rînd. La aşezarea în romb, curgerea peste ţevile din interiorul fasciculului practic nu diferă de curgerea peste ţevile din primul rînd. Aceste elemente determină caracteristicile proceselor de transfer de căldură şi de pierderi de presiune, aşezarea în romb realizînd valori mai ridicate ale coeficientului de convecţie, dar cu pierderi de presiune mai ridicate în comparaţie cu aşezarea în pătrat, pentru aceleaşi date geometrice şi debit de fluid.

Valoarea medie a coeficientului de convecţie nu este constantă pentru întregul fascicul, ci se modifică în funcţie de numărul de rînduri de ţevi N. Pentru primul rînd de ţevi, transferul de căldură este determinat de turbulenţa iniţială a curgerii; pentru rîndurile următoare, coeficientul de convecţie creşte treptat, datorită intensificării turbulenţei la rîndu-

Scanned with OKEN Scanner

rile ulterioare, în funcție de așezarea țevilor în fascicul, atingînd în final o valoare constantă.

FAZĂ (în chimie). Domeniu omogen al unui sistem, caracterizat prin aceea că atît compoziția chimică, cît și proprietățile fizice rămîn aceleași în orice punct din interiorul sistemului sau variază continuu. Denumirea de „fază" aparține lui W. Gibbs.

Un *sistem omogen* constă dintr-o singură fază.

Un *sistem eterogen* este alcătuit din mai multe faze (din mai multe zone omogene diferite). La limita dintre faze se modifică brusc proprietățile sistemului (densitate, indice de refracție, spectre de absorbție).

Gazele se amestecă în orice proporție deci un amestec de gaze este format totdeauna dintr-o singură fază (*sistem monofazic*). Lichidele formează o singură fază numai cînd solubilitatea lor este totală (apă — alcool etilic, apă — acid acetic). Cînd lichidele amestecate sînt parțial miscibile sau nemiscibile formează *sisteme polifazice* (mai multe faze, ex.: apă — fenol, apă — benzen, apă — mercur). Amestecul de solide formează fiecare în parte cîte o fază.

Studiul echilibrului între faze pentru sistemele formate din mai multe faze și conținînd mai mulți componenți se face cu ajutorul legii fazelor, lege stabilită de Gibbs [v. Gibbs (legea fazelor)].

FAZE DE DISTRIBUȚIE. Momente și perioade de deschidere și de închidere a organelor de admisie și evacuare a agenților de lucru în și, respectiv, din cilindrii mașinilor termice.

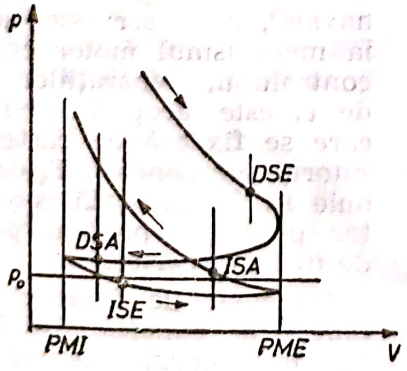


Fig. F.14. Fazele de distribuție ale unui motor în patru timpi:
DSE — deschiderea supapei de evacuare; *ISE* — închiderea supapei de evacuare; *DSA* — deschiderea supapei de admisie; *ISA* — închiderea supapei de admisie; *PMI* — punctul mort interior; *PME* — punctul mort exterior.

În cazul motoarelor cu ardere internă în patru timpi, **f. de d.**, care evidențiază momentele de deschidere și închidere a supapelor de admisie și evacuare, sînt indicate pe ciclul termodinamic conform notațiilor din figura F.14. Datorită considerentelor privind eficiența schimbului de gaze (respectiv asigurarea unei umpleri eficiente a cilindrului cu încărcătură proaspătă), reducerea lucrului mecanic de pompaj și a cantității de gaze arse reziduale, **f. de d.** sînt decalate față de punctele moarte de referință.

F. de d. se definesc practic prin unghiurile de rotație a arborelui cotit, măsurate fie față de originea ciclului, în *diagrama presiune—unghi de rotație arbore* p—α (Fig. F.15), fie prin unghiurile β măsurate față de punctele moarte de referință, în *diagrama fazelor de distribuție* (Fig. F.16).

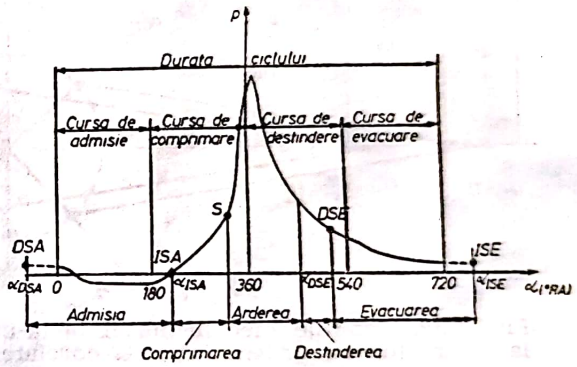


Fig. F.15. Diagrama desfășurată a ciclului motorului cu ardere internă în patru timpi, în coordonate presiune (p) — unghi de rotație arbore (α) cu indicarea fazelor de distribuție (v. Fig. F.14): *S* — scînteia de aprindere a amestecului combustibil în cilindru.

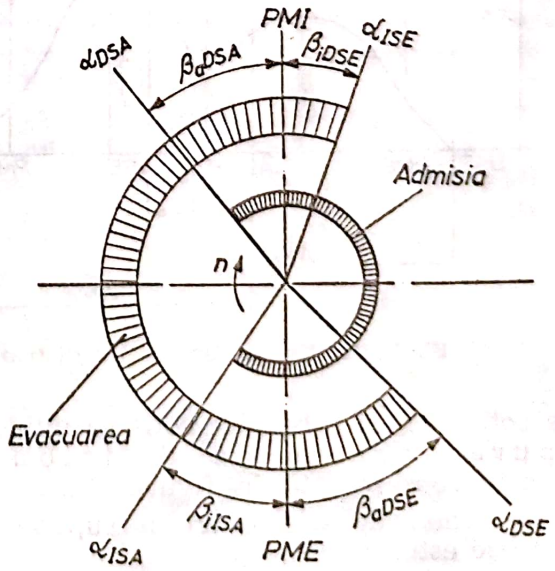


Fig. F.16. Diagrama fazelor de distribuție ale unui motor în patru timpi (v. și Fig. F.14 și F.15).

Scanned with OKEN Scanner

Poziţiile mecanismului bielă-manivelă corespunzătoare **f. de d.** sînt date în figura F.17.

F. de d. precizate conform figurii F.16 reprezintă avansurile (β_a) sau întîrzierile (β_i) la deschiderea sau închiderea supapelor, în raport cu punctele moarte de referinţă. Această definiţie a **f. de d.** este cea mai larg răspîndită în literatura tehnică de specialitate.

Reprezentarea grafică a variaţiei ridicării h a supapelor în funcţie de unghiul

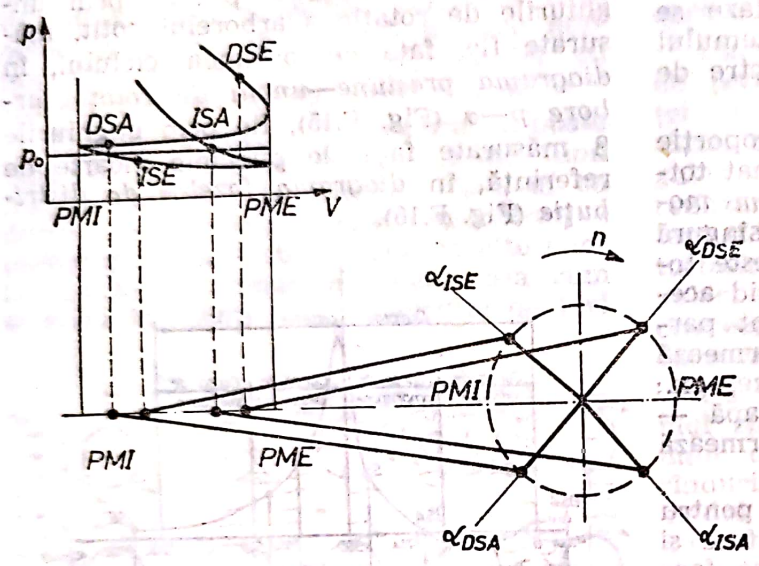


Fig. F.17. Poziţiile mecanismului bielă-manivelă la un motor cu ardere internă, corelate cu fazele distribuţiei.

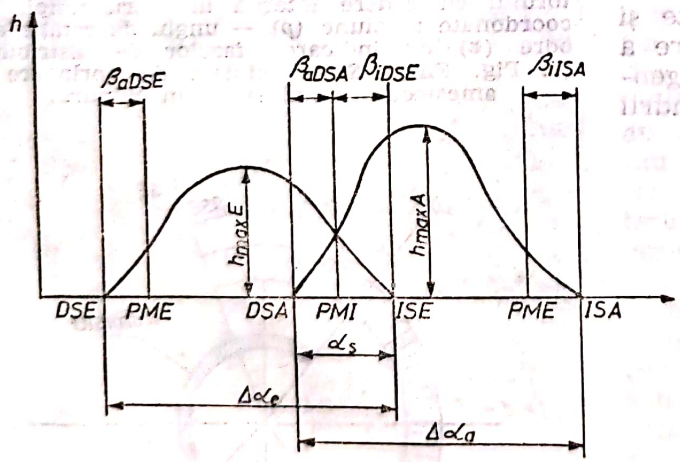


Fig. F.18. Epura fazelor de distribuţie.

de rotaţie α al arborelui cotit se numeşte epura fazelor de distribuţie şi este reprezentată în figura F.18.

Perioada de deschidere a supapei de admisie este:

$$\Delta\alpha_a = \alpha_{ISA} - \alpha_{DSA} = \beta_{i\,ISA} + 180^\circ + \beta_{a\,DSA},$$

iar perioada de deschidere a supapei de evacuare este:

$$\Delta\alpha_e = \alpha_{ISE} - \alpha_{DSE} = \beta_{i\,ISE} + 180^\circ + \beta_{a\,DSE}.$$

Unghiul de suprapunere a deschiderii simultane a supapelor (α_s) are o importanţă deosebită din punctul de vedere al baleiajului, respectiv al cantităţii gazelor arse reziduale în cilindrul motorului.

Fazele optime de distribuţie ale motoarelor cu ardere internă sînt acelea care conduc la un grad de umplere maxim, lucru mecanic de pompaj minim, coeficient minim de gaze arse reziduale şi concentraţie minimă de substanţe nocive în gazele de evacuare (coeficient de impurităte).

Fazele optime de distribuţie se determină experimental, la standul de probe, pentru fiecare tip de motor. Avînd în vedere faptul că **f. de d.** depind de regimul funcţional al motorului (sarcina şi turaţia), valorile optime se determină pentru regimul de funcţionare nominal (cel mai frecvent din gama regimurilor de exploatare a motorului). Unele motoare cu ardere internă sînt prevăzute cu dispozitive de variaţie a **f. de d.** în funcţie de turaţie, asigurînd astfel valori optime pentru mai multe regimuri de funcţionare.

FEREASTRĂ DE CONTROL A CARTERULUI. Orificiu de formă dreptunghiulară, circulară etc., practicat în peretele longitudinal al carterelor motoarelor termice (de regulă staţionare şi navale), care serveşte accesului la mecanismul motor cu ocazia controlului, reparaţiilor etc. **F. de c.** este acoperită cu capace care se fixează de carter cu ajutorul prezoanelor. **F. de c.** trebuie să fie etanşată corespunzător pentru a preveni pierderile de ulei din carter.

Dimensiunile **f. de c.** sînt în funcţie de dimensiunile de gabarit ale motorului termic, făcînd posibil accesul intrumentelor de măsură, în cazul motoarelor termice de puteri mai mici şi accesul mecanicului în cazul motoarelor navale mari. În figura F.19 se prezintă carterul unui motor naval, în peretele căruia sînt practicate **f. de c.** de formă dreptunghiulară.

Scanned with OKEN Scanner

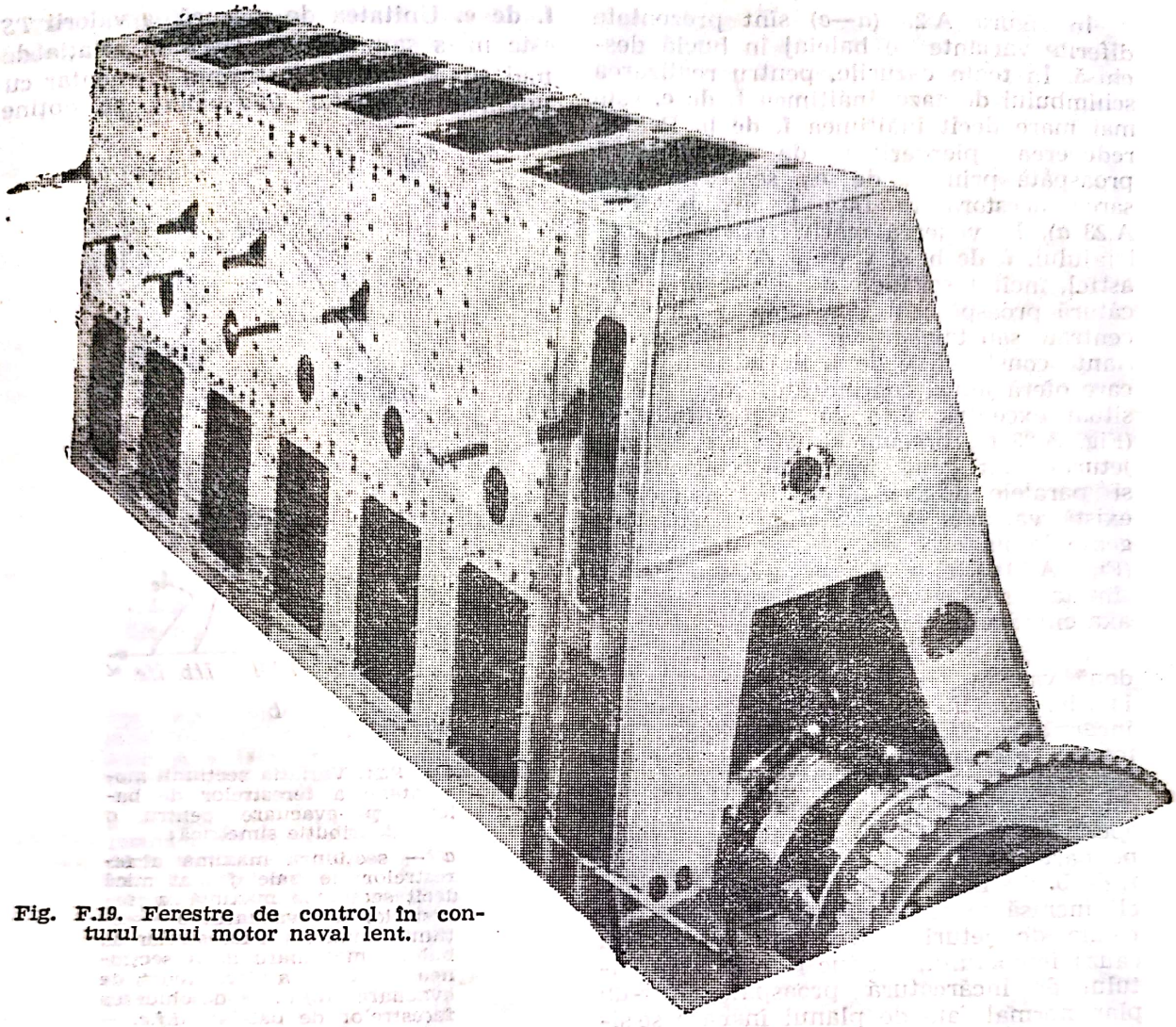


Fig. F.19. Ferestre de control în conturul unui motor naval lent.

FERESTRE DE BALEIAJ ȘI DE EVACUARE (Sin.: **Lumini de baleiaj și evacuare**). Orificii practicate în cilindrii motoarelor cu ardere internă în doi timpi, care asigură schimbul de gaze la aceste motoare. **F. de b.** și **f. de e.**, de regulă, au

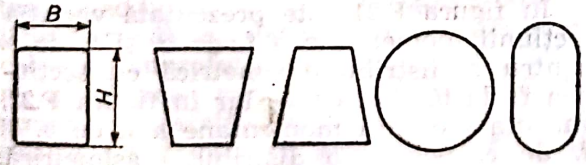


Fig. F.20. Forme ale secțiunii ferestrelor de baleiaj și de admisie.

o secțiune de formă dreptunghiulară (Fig. F.20), cu lățimea constantă sau variabilă, dar pot avea și forme trapezoidale, circulare etc. **F. de b.** și **f. de e.** se execută la extremitatea cămășii cilindrului spre punctul mort exterior (PME), pentru baleiajul în buclă (Fig. C.118). La motoarele cu pistoane opuse, cînd baleiajul este în echicurent, **f. de b.** se execută la extremitatea spre PME, iar **f. de e.** la extremitatea spre PMI (v. Fig. A.24c sau C.119c).

După modul de dispunere a **f. de b.** și **f. de e.** pe circumferința cămășii cilindrului și în plan transversal, variantele de baleiaj în buclă se grupează în două clase principale: baleiaj în buclă deschisă și baleiaj în buclă închisă. La baleiajul în buclă deschisă, **f. de b.** se plasează de o parte a cilindrului, iar **f. de e.** de cealaltă parte, astfel încît curentul de încărcătură proaspătă traversează cilindrul dintr-o parte în alta, forma traiectoriei fiind o buclă incompletă. La baleiajul în buclă închisă **f. de b.** și **f. de e.** sînt situate pe aceeași parte a cilindrului, astfel încît curentul de încărcătură proaspătă realizează aproximativ o traiectorie închisă.

BIBLIOTECA JUDEȚEANĂ „GH. ASACHI" IAȘI
519.324
Scanned with OKEN Scanner

În figura A.23 (*a*—*e*) sînt prezentate diferite variante de baleiaj în buclă deschisă. În toate cazurile, pentru realizarea schimbului de gaze, înălțimea **f. de e.** este mai mare decît înălțimea **f. de b.** Pentru reducerea pierderilor de încărcătură proaspătă prin **f. de e.**, se evită plasarea acestora în fața **f. de. b.** (Fig. A.23 *a*). În vederea măririi eficienței baleiajului, **f. de b.** și **f. de e.** se construiesc astfel, încît fasciculele de jeturi de încărcătură proaspătă și gaze arse să fie concentrate sau tangențiale. Există, astfel, variante constructive de **f. de b.** și **f. de e.** care oferă jeturi concentrate într-un punct situat excentric față de axa cilindrului (Fig. A.23 *b*), precum și variante la care jeturile sînt două cîte două concentrate și paralele (Fig. A.23 *c*). De asemenea, există variante la care jeturile sînt tangente la un cerc concentric cu cilindrul (Fig. A.23 *d*) și variante la care jeturile sînt tangente la un cerc excentric față de axa cilindrului (Fig. A.23 *e*).

În figurile A.23 *f* și *g* sînt prezentate două variante de baleiaj în buclă închisă. În figura A.23 *f*, curentul de încărcătură este orientat către capul pistonului prin înclinarea **f. de b.** Datorită concavității capului pistonului, curentul este dirijat în sus, pe partea cilindrului opusă **f. de b.** și apoi se întoarce în jos, pe partea cilindrului pe care se găsesc **f. de b.** În figura A.23 *g*, baleiajul în buclă închisă se realizează cu cîte două fascicule de jeturi concentrate, care, din cauza impactului, produc ridicarea curentului de încărcătură proaspătă într-un plan normal față de planul în care se situează **f. de e.**

La varianta de baleiaj în echicurent cu pistoane opuse, atît **f. de b.**, cît și **f. de e.** sînt practicate pe toată circumferința cilindrului (Fig. A.24 *c* sau C111 *c*). **F. de b.** sînt controlate de un piston, iar **f. de e.**, de celălalt piston. Pistonul care controlează **f. de e.** este solicitat termic mult mai intens decît pistonul care controlează **f. de b.**

Parametrul care evaluează volumul de fluid (raportat la unitatea vitezei de curgere) care traversează secțiunea **f. de b.** și **f. de e.** este *timpul-secțiune* al **f. de b.** și **f. de e.**

Acest parametru este exprimat prin integrala:

$$TS = \int A \cdot d\tau,$$

unde A este aria secțiunii momentane a **f. de b.** sau **f. de e.**, iar τ — intervalul de timp (infinit mic), în care un volum elementar de fluid traversează **f. de b.** sau **f. de e.** Unitatea de măsură a valorii TS este $m^2 \cdot s$ sau $m^3/m \cdot s$. Dacă în relația de mai sus se substituie timpul elementar cu unghiul elementar ($d\alpha = 6n\tau$), se obține

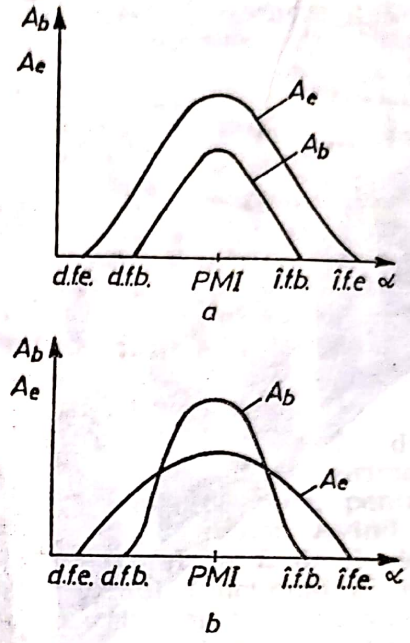


Fig. F.21. Variația secțiunii momentane a ferestrelor de baleiaj și evacuare pentru o distribuție simetrică:

a — secțiunea maximă a ferestrelor de baleiaj mai mică decît secțiunea maximă a ferestrelor de evacuare; *b* — secțiunea maximă a ferestrelor de baleiaj mai mare decît secțiunea maximă a ferestrelor de evacuare; *d.f.b.* — deschiderea ferestrelor de baleiaj; *d.f.e.* — deschiderea ferestrelor de evacuare; *î.f.b.* — închiderea ferestrelor le baleiaj; *î.f.e.* — închiderea ferestrelor de evacuare.

unghiul-secțiune al **f. de b.** și **f. de e.**

$$US = \int A \cdot d\alpha \qquad [m^2 \,°RAC]$$

În figura F.21 este prezentată variația secțiunii momentane a **f. de b.** și **f. de e.** pentru o distribuție simetrică cu secțiunea **f. de b.** și **f. de e.**, iar în figura F.22, variația secțiunii momentane a **f. de b.** și **f. de e.** pentru o distribuție asimetrică. În cazul din figura F.22 *a*, **f. de b.** se închid în același moment cu **f. de e.**; în cazul din figura F.22 *b*, **f. de b.** se închid cu întîrziere și se realizează condiția $A_{b_{max}} < A_{e_{max}}$, opusă celei precedente.

Unghiurile-secțiune pot fi determinate din diagramele $A = A(\alpha)$, prin planimetrarea ariilor de sub curbele respective.

Dimensiunile optime ale **f. de b.** și **f. de e.** se stabilesc prin încercări.

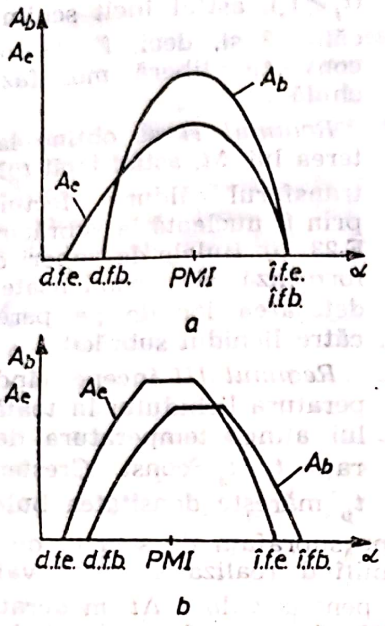


Fig. F.22. Variația secțiunii momentane a ferestrelor de baleiaj și a ferestrelor de evacuare pentru o distribuție asimetrică:

a — secțiunea maximă a ferestrelor de baleiaj mai mică decît secțiunea maximă a ferestrelor de evacuare; *b* — secțiunea maximă a ferestrelor de baleiaj mai mare decît secțiunea maximă a ferestrelor de evacuare; *d.f.b.* — deschiderea ferestrelor de baleiaj; *d.f.e.* — deschiderea ferestrelor de evacuare; *î.f.b.* — închiderea ferestrelor de baleiaj; *î.f.e.* — închiderea ferestrelor de evacuare.

FIERBĂTOR. v. Vaporizator

FIERBERE (Sin.: **Vaporizare**). Schimbare de fază a unui corp de la starea lichidă la vapori, în toată masa lui. Factorii specifici ai **f.** sînt: tensiunea superficială σ, căldura latentă de vaporizare r, calitatea suprafeței de schimb de căldură și forma meniscului lichidului în această suprafață. Principala condiție de realizare a **f.** este ca lichidul să fie pus în contact cu o sursă de căldură a cărei temperatură să fie mai mare decît temperatura de saturație a lichidului corespunzătoare presiunii acestuia. **F.** în tehnică are loc la presiune constantă.

În timpul **f.**, temperatura rămîne constantă. **F.** unei substanțe pure (sistem bifazic monocomponent) este un proces izoterm în condiții izobare. **F.** izobară a unui amestec de două sau mai multe lichide se produce cu variația temperaturii într-un anumit interval. În mod asemănător, **f.** izotermă a unui amestec binar se extinde pe un interval de presiune.

Transferul de căldură la **f.** este procesul determinat într-o serie de aparate și instalații industriale (generatoare de abur, reactoare nucleare, vaporizatoare, fierbătoare, distilatoare, transformatoare de abur etc.). Deoarece **f.** reprezintă un proces de schimb de căldură intensificat, ea se poate utiliza atunci, cînd răcirea unor echipamente necesită realizarea unor fluxuri termice ridicate.

Clasificarea proceselor de **f.** cuprinde următoarele grupe:

a) F. de suprafață și f. de volum (globală). F. de suprafață este procedeul în care formarea vaporilor se datorește căldurii transferate de o suprafață în contact cu lichidul sau imersată în acesta. **F.** de volum apare în întregul volum de lichid, datorită căldurii generate în lichid de surse volumetrice (ex.: reacții chimice, reacții nucleare).

b) F. liberă și f. forțată. F. liberă apare pe o suprafață încălzită conținută într-un volum mare de lichid staționar. **F.** forțată apare într-un curent de lichid care curge printr-un canal cu suprafața pereților încălzită. Curgerea simultană a lichidului și vaporilor în procesul de **f.** forțată reprezintă un tip important de curgere bifazică.

c) F. nucleată și f. în film. În **f.** nucleată, bulele de vapori sînt formate în interiorul lichidului în jurul unor centre de vaporizare (rugozitatea pereților, gazele dizolvate etc.). Ea poate fi de suprafață și de volum. **F.** în film reprezintă procesul de formare a unei pelicule continue de vapori care acoperă suprafața de încălzire. În anumite condiții, există simultan **f.** nucleată și în film.

d) F. la saturație și f. la subrăcire (Fig. F.23) definite de temperatura lichidului t_f. **În f.** la saturație, întregul volum de lichid se găsește la temperatura de saturație t_s corespunzătoare presiunii sistemului. În **f.** la subrăcire, volumul de lichid se află la o temperatură mai mică decît temperatura de saturație. În ambele cazuri, pentru producerea vaporilor, suprafața de încălzire trebuie să fie la o temperatură t_p mai mare decît temperatura de saturație t_s, astfel încît o parte din lichid, adiacent suprafeței, să aibă o temperatură superioară saturației. Ca atare, deși restul volumului de lichid se

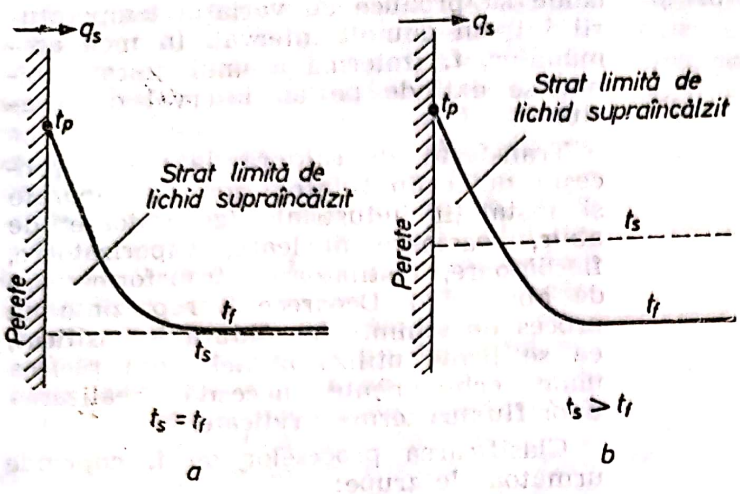


Fig. F.23. Variația temperaturii la peretele cald într-un lichid în fierbere:
a — fierbere la saturație; *b* — fierbere la subrăcire.

găsește la o temperatură inferioară celei de saturație, o parte din acesta, aflat în stratul limită, este supraîncălzit. În cazul **f.** la saturație, bulele de vapori formate se desprind de perete și se deplasează prin volumul de lichid. În **f.** la subrăcire, după detașarea de perete, bulele se sparg după o anumită distanță parcursă, vaporii fiind condensați de lichidul subrăcit. Atît **f.** la saturație, cît și **f.** la subrăcire pot fi de tip nucleat sau în film.

Regimurile de f. în volum mare de lichid. În figura F.24 se prezintă variația fluxului termic unitar q_s în funcție de diferența dintre temperatura peretelui și temperatura fluidului $\Delta t = t_p - t_f$ [°C] pentru **f.** în volum mare a unui lichid staționar, la saturație, la presiunea atmosferică, pe o suprafață cilindrică orizontală. Se deosebesc șase regimuri de **f.** pe care fluidul le poate parcurge succesiv odată cu creșterea temperaturii peretelui t_p:

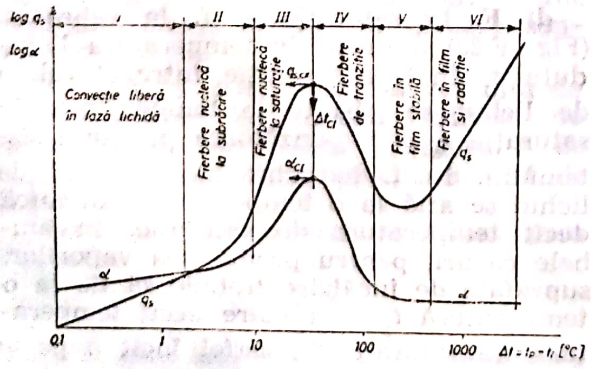


Fig. F.24. Valorile coeficientului de convecție α și ale fluxului termic q în funcție de regimul de fierbere la un lichid în repaus.

În *regimul I*, temperatura depășește cu cel mult cîteva grade temperatura fluidului subrăcit ($t_f < t_s$), astfel încît schimbul de căldură și, deci, **f** are loc prin convecție liberă monofazică lichidă.

Regimul II se obține la creșterea lui Δt, astfel încît $t_p > t_s > t_f$, transferul căldurii efectuîndu-se prin **f.** nucleată la subrăcire (Fig. F.23 *b*). Bulele de vapori care se formează sînt condensate după detașarea lor de pe perete, de către lichidul subrăcit.

Regimul III începe cînd temperatura lichidului în toată masa lui atinge temperatura de saturație $t_f = t_s = \text{const}$. Creșterea lui t_p mărește densitatea bulelor de vapori pe suprafața de schimb de căldură, permițînd realizarea unor valori q_s ridicate pentru valori Δt moderate. Regimul III, denumit **f.** *nucleată la saturație,* prezintă cea mai mare importanță pentru aplicațiile tehnice. Sfîrșitul regimului III este marcat de un maxim pentru q_s, care corespunde acoperirii maxime cu bule a suprafeței de schimb de căldură. Pentru acest punct, $q_s = q_{s,cr}$ este fluxul termic unitar critic de ordinul unu, iar Δt_{cr} — diferența de temperatură critică.

Regimul IV, denumit **f.** *de tranziție,* se obține la $\Delta t > \Delta t_{cr}$, cînd bulele de vapori se unesc între ele și formează un film discontinuu instabil de vapori. Schimbul de căldură se realizează atît prin **f.** nucleată, cît și prin convecție prin filmul de vapori cu valori ale coeficientului de convecție α scăzute, ceea ce produce o micșorare a lui q_s.

În *regimul V*, denumit **f.** *în film instabilă,* **f.** devine instabilă, valoarea lui q_s atingînd un minim, denumit flux unitar critic de ordinul doi.

În *regimul VI*, denumit **f.** *peliculară,* se înregistrează o creștere foarte pronunțată a lui q_s, datorită ponderii schimbului de căldură prin radiație prin ridicarea lui Δt. În acest regim, temperatura peretelui t_p atinge valori la care materialul se topește, din cauza unei răciri insuficiente a peretelui. În practică, atingerea valorii $q_{s,cr}$ deplasează punctul de funcționare din regimul III în VI, în care are loc arderea (topirea) suprafeței de schimb de căldură. Din această cauză,

aparatele de schimb de căldură cu f. trebuie proiectate pentru a funcționa cu fluxuri termice unitare $q_s < q_{s,cr}$. În literatura de specialitate, regimul critic de f. sau criza f., care apare la atingerea valorii $q_{s,cr}$, este denumit *regim de ardere* („burnout" sau abaterea de la fierberea nucleică; DNB — Departure from Nucleate Boiling).

Regimurile de f. prezentate în figura F.24 se mențin și pentru lichidele în curgere, la presiuni $p \geqslant 1$ bar.

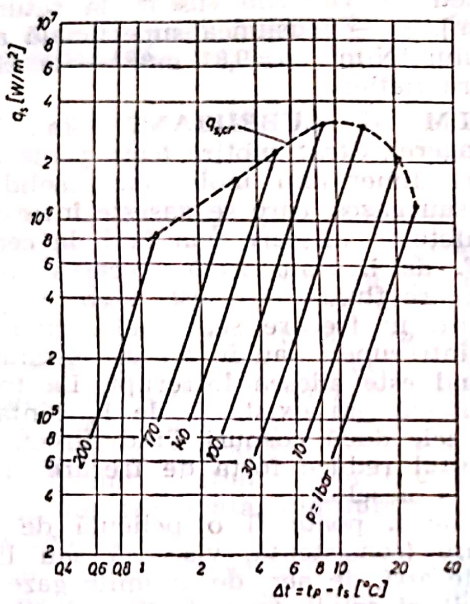


Fig. F.25. Variația fluxului termic $q=f(t)$ la fierberea nucleată a apei.

În figura F.25 se prezintă dependența curbelor de f. nucleată la saturație (regimul III) și a fluxului termic unitar critic (curba întreruptă superioară) în funcție de presiune, la f. apei în volum mare. Se observă că fluxul unitar critic $q_{s,cr}$ atinge o valoare maximă pentru o presiune $p \approx 74$ bar, ceea ce reprezintă aproximativ 1/3 din presiunea punctului critic al apei (220,7 bar).

F. în convecția forțată. În figura F.26, se prezintă o conductă verticală încălzită cu un flux termic unitar constant pe toată lungimea, prin conductă curgînd un fluid aflat la intrare în stare lichidă sub temperatura de saturație.

Datorită căldurii primite, entalpia fluidului crește, începe f. pe suprafața încălzită, f. care se extinde treptat în toată masa fluidului pe măsură ce se atinge saturația în tot volumul acestuia. Conținutul de vapori se mărește progresiv, realizîndu-se astfel condițiile pentru o mare varietate de configurații de curgere și re-

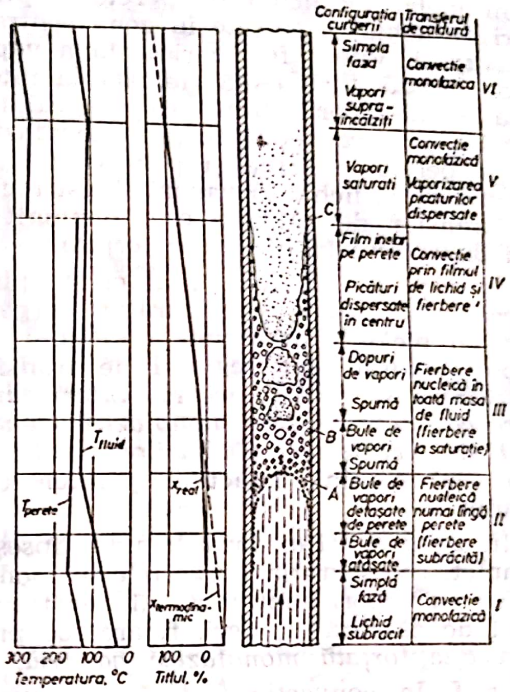


Fig. F.26. Regimurile de fierbere printr-o țeavă verticală.

gimuri de transfer de căldură. Limitele de demarcație între diferitele zone se pot stabili în funcție de titlul termodinamic x_t, titlul real x, precum și în funcție de temperatura peretelui (Fig. F.26).

În *prima zonă* (I), lichidul este subrăcit ($x_t < 0$), iar temperatura peretelui mai mică decît valoarea necesară f. locale la subrăcire. Configurația curgerii este corespunzătoare fluidului monofazic lichid, iar transferul de căldură se face prin convecție forțată monofazică.

În *zona a II-a*, lichidul este subrăcit ($x_t < 0$), dar temperatura peretelui depășește supraîncălzirea necesară fierberii la subrăcire. Configurația curgerii este cu bule de vapori atașate de perete în prima parte și apoi detașate, deplasîndu-se în apropiere de perete. Regimul de transfer de căldură și, deci, f. are loc nucleat la subrăcire.

În *zona a III-a*, entalpia lichidului egalează saturația în tot volumul său, titlul termodinamic devine pozitiv, iar titlul real crește progresiv pînă la 80—85%. Configurația curgerii bifazice este cu dopuri de vapori din ce în ce mai mari, iar regimul de transfer de căldură se realizează prin f. nucleată la saturație în toată masa de fluid.

În *zona a IV-a*, titlul real crește pînă la 95—98%, configurația curgerii fiind cu

film inelar de lichid pe perete şi picături de lichid dispersate în zona centrală de vapori. Viteza foarte ridicată a vaporilor crează turbulenţă ridicată la interfaţa lichid-vapori; transferul de căldură are loc prin convecţie forţată monofazică de la perete la lichid şi prin vaporizare intensă de la lichid la vapori. Acest regim de transfer de căldură este denumit **f.** sau *vaporizare în convecţie forţată.*

În *zona a V-a*, titlul real creşte pînă aproape de 100%, configuraţia curgerii este cu picături dispersate de lichid în vapori saturaţi, iar regimul de transfer de căldură şi, deci, **f.** are loc *intermediar între convecţia forţată monofazică cu vapori* şi *vaporizarea picăturilor de lichid* care mai vin în contact cu peretele canalului.

În *zona a VI-a*, faza lichidă lipseşte complet, configuraţia curgerii este monofazică cu vapori supraîncălziţi, iar transferul de căldură şi, deci, **f.** are loc prin *convecţie forţată monofazică gazoasă.*

La **f.** în convecţie forţată, regimurile periculoase de schimb de căldură, care pot conduce chiar la depăşirea temperaturilor admisibile ale materialului peretelui canalului, sînt desemnate de punctele *A*, *B* şi *C* din figura F.26. În punctele *A* şi *B* c r i z a se poate produce prin abaterea de la **f.** nucleată (sfîrşitul regimului III (*v.* Fig. F.24), iar punctul *C* prin apariţia uscării peretelui (criza **f.** la uscare), la epuizarea filmului de lichid ataşat de perete.

Calculul **f.** se face cu relaţii complexe, care exprimă fluxul termic unitar q_s sau coeficientul de convecţie α la **f.** în funcţie de proprietăţile fizice ale lichidului şi vaporilor la saturaţie, temperatura de saturaţie t_s, temperatura peretelui t_p, presiunea, parametrii geometrici, viteza masică. În general, $q_s=\alpha\Delta t=\alpha(t_p-t_s)$.

Dintre relaţiile simplificate de calcul al **f.** nucleate la saturaţie în volum mare de lichid se menţionează relaţia de mai jos, valabilă pentru apă cu $p<200$ bar:

$$\alpha=\frac{3{,}4\cdot p^{0{,}18}}{1-0{,}0045\cdot p}\,q_s^{2/3}\quad [\mathrm{W/m^2\cdot °C}],$$

în care presiunea p se exprimă în bar, iar fluxul unitar q_s, în W/m^2.

Calculul **f.** nucleate în convecţie forţată se poate face cu relaţia de mai jos, care consideră suprapunerea efectelor **f.** şi convecţiei forţate:

$$\alpha=\sqrt{\alpha_{fn}^2+\alpha_{cf}^2}\quad [\mathrm{W/m^2\cdot °C}],$$

unde α_{fn} este coeficientul de schimb de căldură la **f.** în volum mare, iar α_{cf} — coeficientul de schimb de căldură în convecţia forţată monofazică lichidă.

Fluxul critic unitar $q_{s,cr}$ pentru **f.** în volum mare de lichid se poate stabili cu formula:

$$q_{s,cr}=0{,}14\,r\sqrt{\rho_v}\sqrt[4]{\sigma\cdot g(\rho_l-\rho_v)}\quad [\mathrm{W/m^2}],$$

în care: r este căldura latentă de vaporizare [J/kg], ρ_l, ρ_v — densitatea lichidului, respectiv a vaporilor uscaţi la saturaţie [kg/m^3], σ — tensiunea superficială a lichidului [N/m^2], $g=9{,}81$ m/s^2 — acceleraţia gravitaţiei.

FILM DE LUBRIFIANT (Sin.: **Film de ungere**). Strat subţire (care poate avea uneori dimensiuni moleculare) solid, lichid sau gazos, care se găseşte între două suprafeţe în mişcare una faţă de cealaltă. **F. de l.** transformă frecarea uscată în frecare fluidă, cînd este neîntrerupt şi aderent; în frecare semifluidă, cînd are mici întreruperi sau în frecare semiuscată, cînd este adesea întrerupt. La frecarea uscată, nu există **f. de l.**, contactul între cele două corpuri fiind direct. Lubrifiantul reduce forţa de frecare şi încălzirea pieselor.

F. de l. poate fi o peliculă de ulei, unsoare (consistentă, vîscoasă sau lichidă), de apă, de aer, de anumite gaze sau de pulberi solide (ex.: grafit, teflon).

În cazul în care stratul de lubrifiant este foarte subţire, avînd grosimea moleculară, filmul reprezintă un sistem de două dimensiuni (bidimensional), deoarece practic nu posedă decît două grade de libertate. Lichidul se comportă în acest caz ca un gaz, exercitînd o presiune de contact asemănătoare presiunii unui gaz în sistem tridimensional.

FILTRARE. Procedeu de separare a fazei solide în suspensie dintr-un amestec solid-fluid. Separarea se face prin trecerea fluidului printr-o sită sau strat poros, permeabil pentru faza fluidă.

Pentru **f.** este necesară o diferenţă de presiune, care se obţine prin diferite mijloace (forţe de gravitaţie, de inerţie, centrifugale, electrostatice). Depozitul depus pe filtru din faza solidă contribuie în genere la **f.**, extinzînd reţinerea şi la particule mai mici decît ochiurile sitei, sau a interstiţiilor sau a porilor stratului filtrant. Depunerea măreşte, însă, rezistenţa la trecere a amestecului şi reduce viteza de **f.** Materialul filtrant poate fi: site, lamele, sîrme, pînză, pîslă, produse speciale (ex.: scame de bumbac, de azbest

Scanned with OKEN Scanner

etc. Alegerea lor depinde de condiţiile tehnice (chimice, mecanice şi termice) şi economice (presiune, cost, productivitate).

Mărimea particulelor solide şi temperatura lor, diluarea soluţiei de amestec, precum şi alte caracteristici pot influenţa productivitatea f.

Scopul f. poate fi: limpezirea fazei lichide, epurarea fazei gazoase, recuperarea fazei solide sau obţinerea separată a ambelor faze.

Ecuaţia de f. derivă din cea de curgere printr-un strat poros (al filtrului), ţinînd cont de îngroşarea acestuia şi de compresibilitatea lui:

$$\frac{dv}{d\tau} = \frac{A^2(\Delta p)^{1-s}}{\gamma_1 \cdot \eta \cdot (V+V')},$$

unde: τ este timpul; V — volumul soluţiei filtrate corespunzător duratei τ; Δp — pierderea de presiune în filtru; A — suprafaţa filtrului; s — exponent în funcţie de compresibilitatea stratului depus; η — vîscozitatea filtratului; V' — volumul de material solid în suspensie care ar forma un strat depus avînd aceeaşi rezistenţă hidraulică cu cea a stratului filtrant iniţial; γ_1=constantă, în funcţie de rezistenţa hidraulică a stratului depus.

Prin extensie, termenul f. se aplică şi la separări din amestec omogen, cu ajutorul unui strat granular activ (exemplu: măştile de gaze), precum şi la alte separări cum sînt cele de lungimi de undă sau de sunete în acustică. Aceste separări nu sînt de ordin mecanic, ci efecte de absorbţie, reacţii chimice, sau efecte electromagnetice (în cazul undelor). Impropriu, se numeşte f. şi separarea fazei solide prin decantare sau sedimentare.

FILTRU DE AER (pentru motoare termice). Aparat din sistemul de admisie al aerului în maşinile termice, care face legătura între mediul înconjurător şi galeriile de admisie ale maşinii. În cazul motoarelor cu ardere internă alimentate natural (nesupraalimentate) cu amestecul aer—combustibil, prin carburator sau prin injecţie în galeria de admisie, **f. de a.** precede carburatorul, respectiv galeria de admisie. La motoarele supraalimentate, în circuitul de admisie se interpune şi sistemul de supraalimentare, filtrul de aer fiind montat în amonte de restul componentelor.

F. de a. are rolul de a permite admisia de aer purificat, respectiv de a reţine particulele solide ce se găsesc în el.

Concepţia de proiectare a **f. de a.** trebuie să ţină seama că el constituie o frînă aerodinamică în circuitul de admisie a aerului, înrăutăţind umplerea cilindrilor maşinii.

Constructiv, **f. de a.** sînt cu element filtrant, cu baie de ulei şi centrifugale.

F. de a. cu element filtrant se utilizează, în general, la motoarele cu ardere internă pentru autovehicule.

F. de a. centrifugale se utilizează, cu precădere, la motoare diesel de putere mare (motoare staţionare).

Pentru **f. de a. cu element filtrant,** elementul filtrant este fabricat din hîrtie, material sintetic sau plasă metalică. El are un coeficient de epurare foarte ridicat (aproximativ 95%). Carcasa se execută din tablă metalică subţire (0,5—1,0 mm) sau din materiale plastice nelastice, prin ambutisare şi presare, respectiv injectare sub presiune. Mai rar, se execută din aliaje uşoare, prin turnare.

Carcasa **f. de a.** poate avea forme din cele mai variate, în funcţie de amplasarea filtrului pe motor şi de parametrii aerodinamici şi de umplere. În cazul amplasării pe un motor de autovehicul, **f. de a.** poate să aibă diverse forme, în funcţie de amplasarea motorului sau forma aerodinamică a autoturismului (Fig. F.27 *a*, *b*, *c*). Alegerea formei **f. de a.**

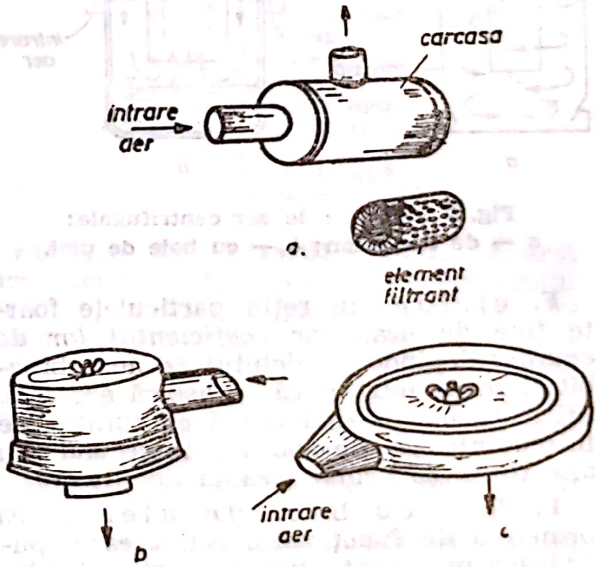


Fig. F.27 — Filtre de aer pentru motoare de autovehicule.

presupune un compromis de îmbinare a formei constructive (impuse de condiţiile de exploatare a motorului) cu forma ce permite o eficienţă ridicată a umplerii. Carcasele **f. de a.** pot avea forme cilindrice, toroidale, paralelipipedice etc.

Scanned with OKEN Scanner

Elementul filtrant este cel ce asigură filtrarea propriu-zisă a aerului de admisie. Constructiv, el se adaptează formei impuse de carcasa filtrului. Elementul filtrant se găsește în interiorul carcasei, fiind fixat prin strîngerea capacului carcasei. Prin îndepărtarea capacului, se poate scoate elementul filtrant pentru a fi înlocuit sau curățat. Elementul filtrant se confecționează fie din hîrtie poroasă sau pînză sintetică impregnată cu rășini fenolice, pentru a rezista la umiditate și la agenții chimici din aerul aspirat, fie din pînze din materiale plastice sau metalice. Sînt anumite elemente filtrante care folosesc ambele genuri de materiale (ex.: hîrtie poroasă la interior și plasă metalică la exterior). De obicei, elementul filtrant din hîrtie sau pînză sintetică are și un suport metalic sau plastic care îi permite păstrarea formei, ferindu-l de deformări.

Atît carcasa, cît și elementul filtrant trebuie să fie ușoare și cu fiabilitate ridicată.

F. de a. centrifugale pot fi de două tipuri: de tip uscat (**f. ciclon** — Fig. F.28 *a*) și de tip umed (**f. cu baie de ulei** — Fig. F.28 *b*).

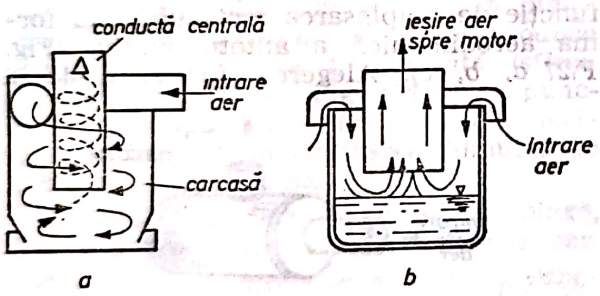


Fig. F.28. Filtre de aer centrifugale:
***a* — de tip ciclon; *b* — cu baie de ulei.**

F. ciclon nu reține particulele foarte fine de praf, iar *coeficientul lor de epurare* depinde de debitul de aer absorbit și scade mult dacă se aspiră aer fals. Eficiența lor scăzînd odată cu turația, se întrebuințează, de obicei, împreună cu alte filtre, ca primă treaptă de filtrare.

F. de a. cu baie de ulei au ca principiu de funcționare reținerea impurităților prin centrifugare, inerție și adeziune la ulei. Constructiv (Fig. F.28 *b*), un asemenea filtru se compune din carcasa **f. de a.** (corp și capac) și uleiul de filtrare. Aerul pătrunde în filtru prin orificiile periferice ale capacului și este absorbit prin conducta centrală. Fiind antrenat într-o mișcare circulară, aerul vine în contact cu suprafața uleiului și astfel, particulele de praf (impuritățile) aderă la

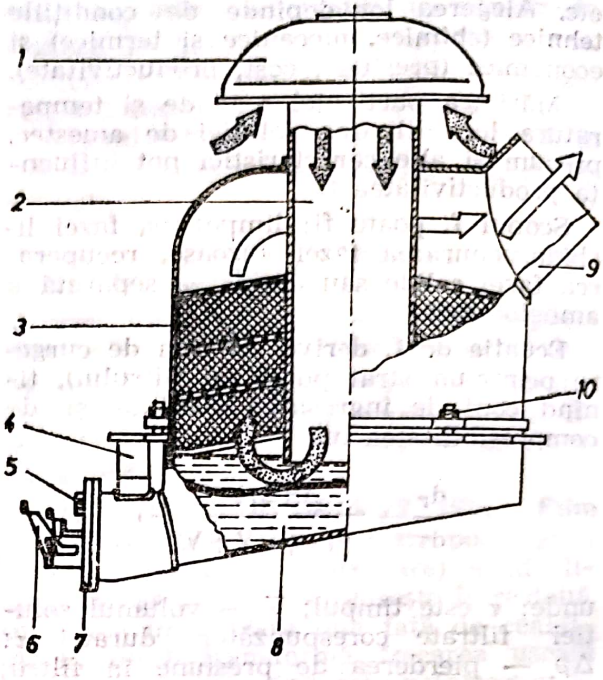


Fig. F.29. Filtru de aer cu baie de ulei și cartuș filtrant:
***1* — capac de protecție; *2* — conductă centrală; *3* — cartuș filtrant; *4* — orificiu de umplere; *5* — șuruburi de fixare; *6* — capac de golire; *7* — flanșă pentru curățire; *8* — baie de ulei; *9* — conductă de evacuare; *10* — piuliță.**

oglinda de ulei. *Coeficientul de epurare* al lor este invers proporțional cu diametrul conductei centrale. Pentru mărirea coeficientului de epurare se construiesc **f. de a.** ce combină diferite procedee de filtrare. Astfel, în figura F.29, este prezentat un **f. de a.** cu baie de ulei și cartuș filtrant.

FILTRU DE APĂ. Aparat care servește la îndepărtarea din apă a elementelor poluante (impurități solide, microorganisme) sau a unor substanțe chimice ce fac apa improprie anumitor întrebuințări.

Impuritățile și substanțele conținute pot fi minerale sau organice, în stare de suspensie, coloidale sau dizolvate.

Acțiunea filtrului este mecanică, dar prin extindere, denumirea se aplică și la procedee fizice, chimice și biologice.

Scopul filtrării este epurarea și depoluarea apelor (apă de canal, apă industrială, apă potabilă sau reziduală), în vederea utilizării lor.

În mod natural, apa de ploaie, spre exemplu, este în genere pură (fiind condensată din vapori), dar se încarcă la căderea ei pe pămînt cu impurități care pot fi solide (minerale și organice), lichide, sau gaze (unele dizolvîndu-se) și se scurge apoi în pămînt, unde se filtrează, ajungînd ca apă potabilă în stratul freatic subteran, de unde izvorăște iar la su-

Scanned with OKEN Scanner

prafață sau alimentează fîntînile. Apele de ploaie scurse în rîuri sau lacuri se depoluează în acestea prin decantare sau filtrare.

Pentru alimentările cu apă ale aglomerațiilor urbane și pentru industrie se captează izvoare sau se ia apă dintr-un rîu, care se limpezește prin reținerea particulelor solide în suspensie la trecerea printr-un strat filtrant din material poros sau material granular (în genere nisip), fără sau cu sedimente depuse pe el. Apa tulbure, trecînd prin straturile de filtrare cu nisip, elimină suspensiile solide și se limpezește printr-un fenomen de absorbție, particulele în suspensie depunîndu-se pe granulele de nisip și, parțial, și prin efectul de sită, cînd interstițiile sînt mai mici decît granulele de impurități din apă. Prin filtrare, substanțele microscopice (ex.: bacteriile de 1,5—0,5 μ), cele în stare coloidală (5—200 μ) și chiar substanțe în soluție (sub 5 mμ) pot fi ușor reținute de stratul de nisip. Cînd filtrul se colmatează trebuie procedat la curățarea (spălarea) stratului filtrant, altfel rezistența hidraulică a lui crește și viteza de trecere a apei scade (datorită interstițiilor mai mici), ceea ce poate provoca antrenarea de particule reținute, înrăutățind filtrarea.

F. de a. potabilă sînt: **f. lente, rapide** și ultrarapide.

F. de a. lente funcționează deschis și se compun din bazine de beton cu fund drenant din plăci poroase (de obicei tip Arcuda), pe care se așază un strat de pietriș de 0,2—0,3 m grosime, un strat de nisip de 0,6—1,0 m, iar deasupra un strat de apă. Nisipul cuarțos nu trebuie să conțină materii organice și săruri solubile, avînd un maximum de 1% pulberi. Granulele au dimensiuni de 0,3—1 mm. Dacă apa este foarte tulbure, se pot folosi prefiltre.

F. de a. rapide folosesc nisip de cuarț sau antracit cu granule de (0,3—1,5) mm la o grosime a stratului de 0,7—0,9 m pentru apă potabilă și granule de (1,0—1,5) mm pentru apa industrială, cu strat de 2,0—2,5 m. Se pot folosi și două straturi diferite, sus antracit și jos cuarț.

F. de a. rapide pot fi deschise sau închise, cu funcționare sub presiune.

F. de a. ultrarapide funcționează numai sub presiune, cu viteze de filtrare de 25—100 m/h și se folosesc pentru apă industrială.

În figurile F.30 și F.31 sînt prezentate două exemple de **f. de a.**

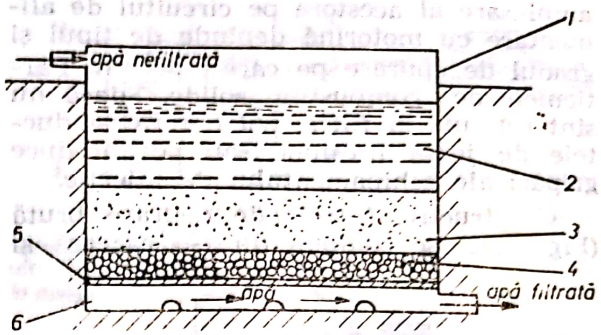


Fig. F.30. Filtru deschis pentru apă potabilă: *1* — bazin de beton; *2* — apă; *3* — strat de nisip cu antracit; *4* — pietriș; *5* — placă poroasă; *6* — bazin colector.

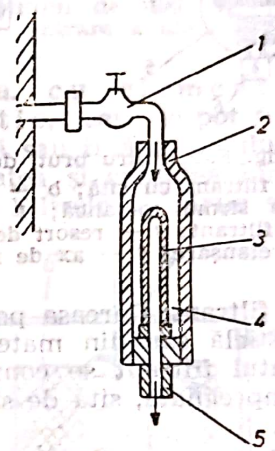


Fig. F.31. Filtru menajer de apă: *1* — robinet; *2* — corpul filtrului; *3* — material filtrant (porțelan fără glazură, masa poroasă etc.); *4* — camera de apă; *5* — capac.

FILTRU DE COMBUSTIBIL. Aparat care permite filtrarea combustibilului (benzină, motorină, păcură etc.) în circuitele de alimentare ale mașinilor și instalațiilor termice. Prin filtrare, combustibilul este epurat de eventualele particule solide care ar provoca uzura sau avarierea echipamentelor.

După *gradul de filtrare*, **f. de c.** pot fi grupate în două categorii:

— **filtre de epurare brută**, care reține particulele de aproximativ 50—100 μm;

— **filtre de epurare fină a combustibilului**, care reține particule de pînă la 5—7 μm.

Există și filtre de epurare prealabilă sau preventivă, ele îndeplinind funcții asemănătoare filtrelor din prima categorie.

Filtrele de epurare brută se întîlnesc, de obicei, la motoarele diesel. Locul de

amplasare al acestora pe circuitul de alimentare cu motorină depinde de tipul și gradul de epurare pe care-l permit. Particulele de combustibil solide, dacă nu sînt reținute în filtre, pot obtura conductele de joasă presiune sau pot produce gripări ale echipamentului de injecție.

Constructiv, filtrele de epurare brută (Fig. F.32) se compun dintr-o carcasă și

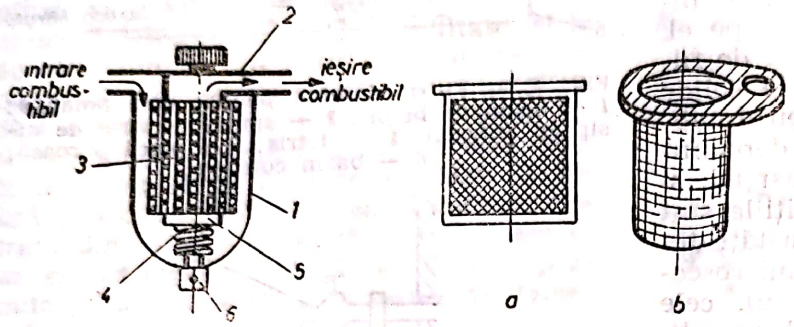


Fig. F.32. Filtru brut, de combustibil:
a — element filtrant cu sită; *b* — element filtrant din pîslă sau plasă de sîrmă metalică; *1* — carcasă; *2* — capac; *3* — element filtrant; *4* — resort de presiune; *5* — garnitură de etanșare; *6* — ax de fixare și ghidaj.

un element filtrant. Carcasa poate fi metalică, din sticlă sau din materiale plastice. Elementul filtrant se confecționează din pînză impregnată, sită de sîrmă, pîslă sintetică etc.

Filtrele de epurare fină se montează înaintea carburatorului la motoarele cu aprindere prin scînteie, sau înaintea pompei de injecție la motoarele diesel. Ele au un coeficient de epurare de 98—99%. La motoarele cu aprindere prin scînteie, la temperaturi scăzute, un astfel de filtru poate permite și decantarea apei din benzină în cazul unei întreruperi mai mari în funcționarea motorului. Se construiesc ca filtrele de epurare brută, dintr-o carcasă ce conține în interior un element filtrant (Fig. F.33), deosebindu-se de acestea prin finețea de epurare care este dată de elementul filtrant. Se utilizează, în acest caz, pîsla, hîrtia poroasă impregnată, vata de zgură, firele de bumbac etc. Forma elementului filtrant poate fi cilindrică, burduf (armonică), plăci circulare etc.

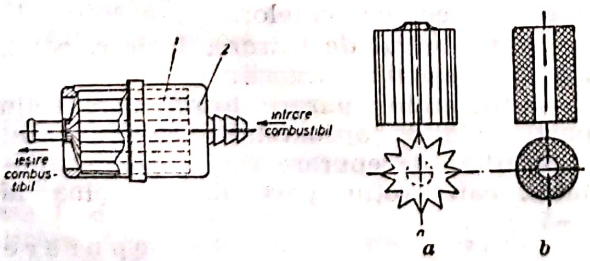


Fig. F.33. Filtru de epurare fină, de combustibil:
a — element filtrant din hîrtie tip armonică; *b* — element filtrant din pîslă; *1* — element filtrant; *2* — carcasă metalică sau din material plastic.

F. de c., în special cele de epurare fină, introduc o rezistență hidrodinamică pe circuitul de alimentare cu combustibil. Filtrele de epurare fină care echipează motoarele diesel își măresc rezistența hidrodinamică odată cu mărirea vîscozității motorinei la temperaturi scăzute (sub 0°C). Pentru a evita blocaje în alimentare, aceste filtre se prevăd cu dispozitive de încălzire (circuit de apă caldă sau gaze de evacuare) în timpul funcționării.

Unele soluții constructive de filtre îndeplinesc atît rolul de epurare brută, cît și de epurare fină a combustibilului.

FILTRU DE GAZE. Aparat care efectuează separarea unei faze solide sau lichide dintr-o fază gazoasă.

Cele mai cunoscute sînt filtrele de aer utilizate la motoarele cu ardere internă și la compresoare (Fig. F.34) pentru eliminarea impurităților (praf, rumeguș,

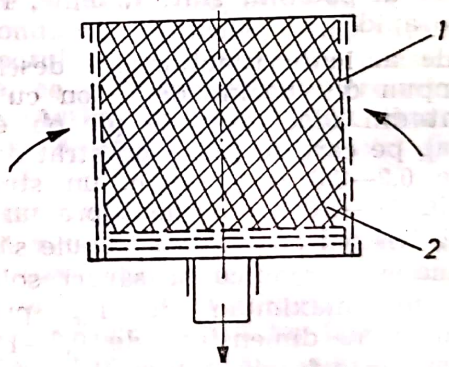


Fig. F.34. Filtru de aer cu sită și șpan metalic, pentru motoare și compresoare:
1 — sită metalică; *2* — umplutură din șpan umezită cu ulei.

microorganisme etc.) conținute în aerul aspirat, dar în unele cazuri și pentru eliminarea vaporilor de apă sau de ulei din gazele comprimate, prin răcire sau prin acțiunea unor forțe de inerție sau centrifugale, de exemplu: separatoare de apă și ulei, cicloane etc. [v. Filtru de aer].

La **f. de g.** se pot folosi și procedee active pe bază fizică sau chimică (ex.: cărbune activ, silicagel etc.), cum se procedează la măștile de gaze (Fig. F.35) sau la epurarea gazelor de evacuare de la motoare etc.

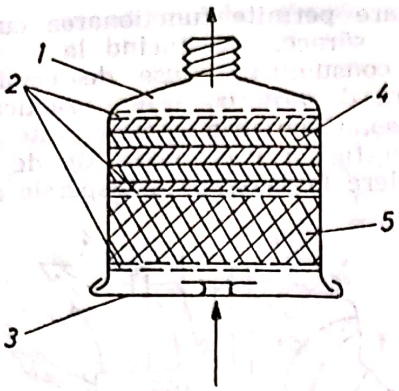


Fig. F.35. Filtru de aer pentru măşti de gaze:
1 — corp; *2* — sită metalică; *3* — capac; *4* — umplutură din vată, pîslă, pînză impregnată cu soluţie de neutralizare; *5* — cărbune activ sub formă de granule.

FILTRU DE ULEI. Aparat care are rolul de a filtra uleiul de ungere într-o maşină termică, prin separarea particulelor solide ce depăşesc o anumită mărime şi se află în suspensie în fluidul de ungere. Mărimea acestor particule solide ce urmează a fi reţinute este dată de *pragul de filtrare*, care pentru **f. de u.** ajunge la aproximativ 5 μm pentru epurarea fină.

Prin filtrarea uleiului, uzura pieselor motorului se reduce substanţial.

Deoarece în circuitul de ungere al motorului termic, uleiul trebuie vehiculat şi filtrat rapid, un **filtru de epurare fină** (prag de filtrare 5 μm) ar impune o rezistenţă hidrodinamică prea mare; de aceea se utilizează şi **un filtru de epurare brută** (prag de filtrare 50—100 μm). Acest filtru se montează în serie în circuitul de filtrare, iar filtrul fin în paralel. Filtrul de epurare fină poate epura pînă la 20% din cantitatea de ulei vehiculată în motor.

După *modul de filtrare*, **f. de u.** se grupează în filtre cu membrană filtrantă, filtre active, filtre centrifugale etc.

În grupa f. de u. cu membrană filtrantă (filtre mecanice) se deosebesc:

F. de u. cu sită metalică, care au praguri de epurare de pînă la 20 μm (epurare brută) şi se montează în baia de ulei a motorului, înaintea pompei de ulei;

F. de u. cu discuri (Fig. F.36), care servesc la filtrarea brută sau fină a uleiului; uneori, prin construcţie, un astfel de filtru poate îndeplini ambele tipuri de filtrare. Se utilizează la motoarele staţionare şi de autovehicule;

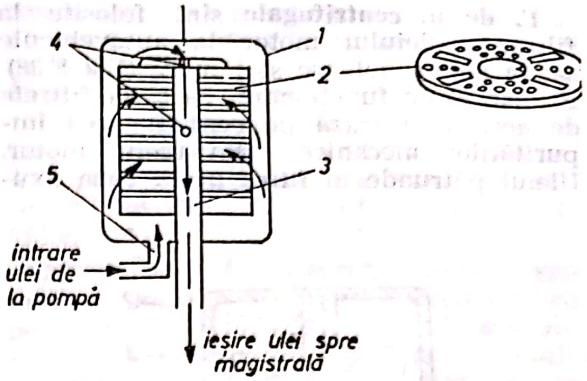


Fig. F.36. Filtru de ulei, cu discuri:
1 — corp; *2* — discursuri filtrante; *3* — conductă de ieşire a uleiului; *4* — orificii calibrate pentru reglarea debitului de ulei; *5* — conductă de intrare a uleiului.

F. de u. cu element filtrant din hîrtie, care se pot folosi la epurarea brută sau fină a uleiului, în funcţie de porozitatea şi calitatea hîrtiei folosite (Fig. F.37). Filtrele de hîrtie se înlocuiesc

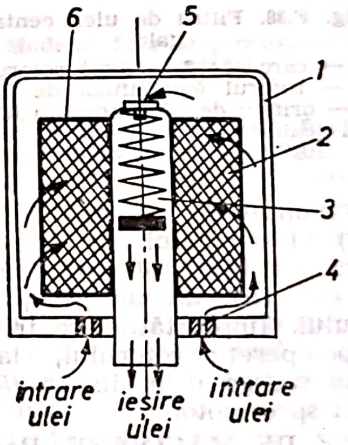


Fig. F.37. Filtru de ulei cu hîrtie poroasă:
1 — carcasă; *2* — element filtrant; *3* — arc pentru supapă; *4* — intrarea uleiului; *5* — supapă de siguranţă; *6* — carcasa elementului filtrant.

după un anumit timp de utilizare. Ele se utilizează în domeniul motoarelor pentru autovehicule, de obicei cu cilindree mică (autoturisme).

F. de u. active se folosesc, în afară de epurarea uleiului de particulele solide, la reţinerea unor oxidanţi sau a apei din uleiul motor. Elementul filtrant lucrează pe principiul reacţiilor chimice de separare a constituenţilor sau prin absorbţie. El este confecţionat din pîslă sau hîrtie, impregnate cu substanţe chimice, amestecuri de pulberi de oxizi de aluminiu, mangan etc.

Scanned with OKEN Scanner

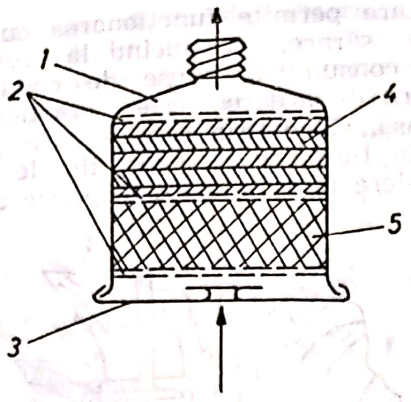


Fig. F.35. Filtru de aer pentru măşti de gaze:
1 — corp; *2* — sită metalică; *3* — capac; *4* — umplutură din vată, pîslă, pînză impregnată cu soluţie de neutralizare; *5* — cărbune activ sub formă de granule.

FILTRU DE ULEI. Aparat care are rolul de a filtra uleiul de ungere într-o maşină termică, prin separarea particulelor solide ce depăşesc o anumită mărime şi se află în suspensie în fluidul de ungere. Mărimea acestor particule solide ce urmează a fi reţinute este dată de *pragul de filtrare,* care pentru **f. de u.** ajunge la aproximativ 5 μm pentru epurarea fină.

Prin filtrarea uleiului, uzura pieselor motorului se reduce substanţial.

Deoarece în circuitul de ungere al motorului termic, uleiul trebuie vehiculat şi filtrat rapid, un **filtru de epurare fină** (prag de filtrare 5 μm) ar impune o rezistenţă hidrodinamică prea mare; de aceea se utilizează şi **un filtru de epurare brută** (prag de filtrare 50—100 μm). Acest filtru se montează în serie în circuitul de filtrare, iar filtrul fin în paralel. Filtrul de epurare fină poate epura pînă la 20% din cantitatea de ulei vehiculată în motor.

După *modul de filtrare,* **f. de u.** se grupează în filtre cu membrană filtrantă, filtre active, filtre centrifugale etc.

În grupa **f. de u. cu membrană filtrantă** (filtre mecanice) se deosebesc:

F. de u. cu sită metalică, care au praguri de epurare de pînă la 20 μm (epurare brută) şi se montează în baia de ulei a motorului, înaintea pompei de ulei;

F. de u. cu discuri (Fig. F.36), care servesc la filtrarea brută sau fină a uleiului; uneori, prin construcţie, un astfel de filtru poate îndeplini ambele tipuri de filtrare. Se utilizează la motoarele staţionare şi de autovehicule;

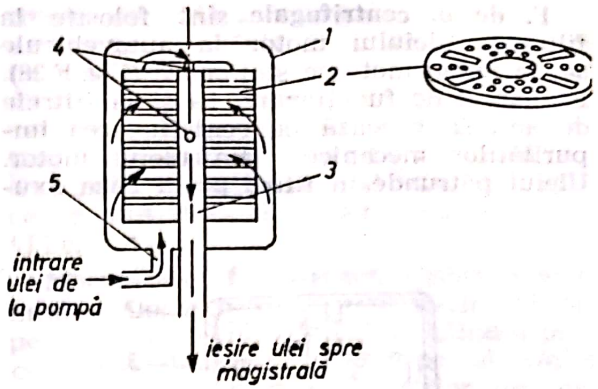


Fig. F.36. Filtru de ulei, cu discuri:
1 — corp; *2* — discursuri filtrante; *3* — conductă de ieşire a uleiului; *4* — orificii calibrate pentru reglarea debitului de ulei; *5* — conductă de intrare a uleiului.

F. de u. cu element filtrant din hîrtie, care se pot folosi la epurarea brută sau fină a uleiului, în funcţie de porozitatea şi calitatea hîrtiei folosite (Fig. F.37). Filtrele de hîrtie se înlocuiesc

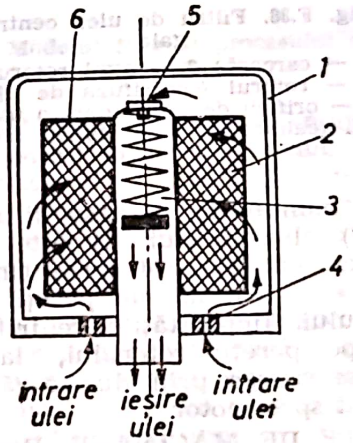


Fig. F.37. Filtru de ulei cu hîrtie poroasă:
1 — carcasă; *2* — element filtrant; *3* — arc pentru supapă; *4* — intrarea uleiului; *5* — supapă de siguranţă; *6* — carcasa elementului filtrant.

după un anumit timp de utilizare. Ele se utilizează în domeniul motoarelor pentru autovehicule, de obicei cu cilindree mică (autoturisme).

F. de u. active se folosesc, în afară de epurarea uleiului de particulele solide, la reţinerea unor oxidanţi sau a apei din uleiul motor. Elementul filtrant lucrează pe principiul reacţiilor chimice de separare a constituenţilor sau prin absorbţie. El este confecţionat din pîslă sau hîrtie, impregnate cu substanţe chimice, amestecuri de pulberi de oxizi de aluminiu, mangan etc.

Scanned with OKEN Scanner

F. de u. centrifugale sînt folosite la filtrarea uleiului motor la autovehicule sau la unele motoare staționare (Fig. F.38). Principiul de funcționare, ca și la filtrele de aer, se bazează pe centrifugarea impurităților mecanice din uleiul motor. Uleiul pătrunde în filtru pe la baza axu-

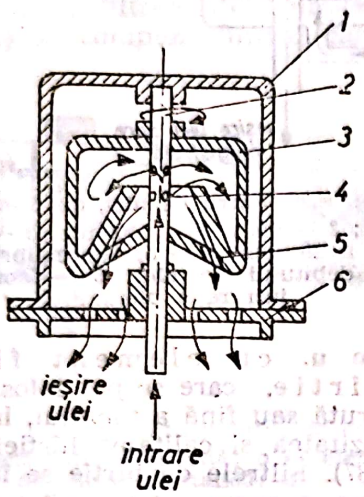


Fig. F.38. Filtru de ulei centrifugal:
1 — carcasă; *2* — axul rotorului; *3* — rotorul (centrifuga de ulei); *4* — orificii de pătrundere a uleiului (calibrate); *5* — ieșirea uleiului; *6* — flanșă de fixare.

lui (2), montat în carcasa filtrului (*1*). Axul (*2*) al rotorului (*3*) este prevăzut cu orificii calibrate (*4*) prin care uleiul pompat este injectat pe pereții interiori ai rotorului. Impuritățile centrifugate se depun pe pereții rotorului, iar uleiul epurat se scurge prin duzele (*5*) și este recirculat spre motor.

FINEȚE DE MĂCINARE. Raport procentual dintre cantitatea rămasă pe o sită și cantitatea dată la cernut (sau măcinat) dintr-un anumit material (ex.: cărbune, ciment, pulberi metalice).

Determinarea **f. de m.** se face în raport cu o sită de finețe prestabilită. **F. de m.** constituie una din caracteristicile materialelor pulverulente, influențînd proprietățile fizico-chimice ale acestora sau ale produselor obținute din ele. De asemenea, este influențată și desfășurarea proceselor tehnice la care participă aceste produse. De exemplu, **f. de m.** a unui ciment influențează viteza de hidratare a acestuia, cantitatea de apă de amestec necesară, dilatarea termică, contracția și rezistențele mecanice ale betoanelor și mortarelor.

FIREBALL (Cameră de ardere). Cameră de ardere utilizată la motoarele cu aprindere prin scînteie pentru autoturisme, care permite funcționarea cu amestecuri sărace, conducînd la realizarea unor consumuri reduse de combustibil. Camera de ardere este practicată în chiulasă. Geometria camerei este prezentată în figura F.39. Acest tip de cameră de ardere favorizează o dispersie a parti-

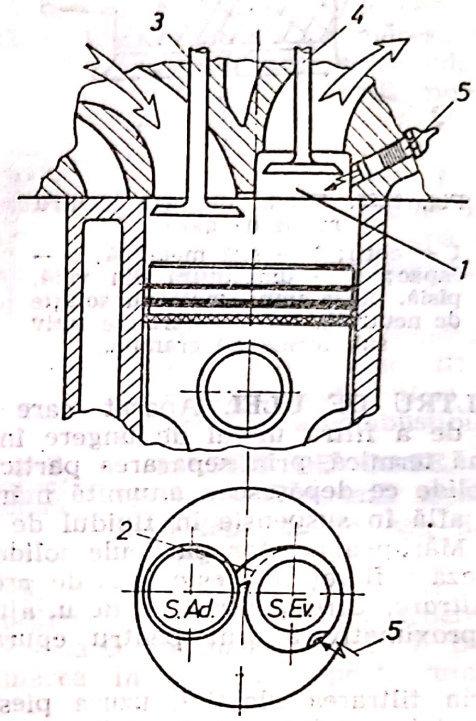


Fig. F.39. Cameră de ardere „Fireball": *1* — cameră de ardere; *2* — canal de intrare a jetului de aer-combustibil în cameră; *3* — supapa de admisie; *4* — supapa de evacuare; *5* — bujie.

culelor de combustibil într-un vîrtej circular („fireball" — minge de foc). Astfel, în același interval de timp, prin fața bujiei trec mai multe particule de carburant, ceea ce permite o aprindere mai rapidă a amestecului aer-combustibil, nu se manifestă fenomenul de imposibilitate a inițierii aprinderii combustibilului, iar riscul de detonație este limitat. Motoarele utilizînd camere de ardere **F.** pot fi construite cu rapoarte de comprimare mai mari ($\varepsilon = 12 \ldots 14$) decît motoarele cu aprindere prin scînteie uzuale ($\varepsilon = 8 \ldots 10$).

Inconvenientul pe care îl prezintă aceste camere de ardere este temperatura mare în timpul procesului de ardere, localizată în interiorul camerei de ardere din chiulasă. Regimul termic ridicat impune complicații constructive, în special pentru supapa de evacuare.

FISIUNE. Proces de spargere a unui nucleu greu, fisionabil (înzestrat cu capacitatea de a fisiona), produs în mod spon-

Scanned with OKEN Scanner

tan, dar, de obicei, de absorbţia unui neutron ($_0n^1$), în două părţi aproximativ egale (fragmente de fisiune reprezentînd nuclee radioactive ale unor elemente mai uşoare $_{Z_1}X^{A_1}$ şi $_{Z_2}X^{A_2}$), spargere însoţită de apariţia radiaţiilor α, β şi γ, de 1—3 neutroni liberi şi de eliberarea unei mari cantităţi de energie Q. Izotopii fisionabili care prezintă interes practic sînt: $_{92}U^{235}$, $_{92}U^{233}$ şi $_{94}Pu^{239}$; primul este natural, ultimii doi artificiali.

Reprezentarea simplificată a f. $_{92}U^{235}$ este următoarea:

$$_{92}U^{235}+{}_0n^1 \rightarrow {}_{Z_1}X^{A_1}+{}_{Z_2}X^{A_2}+\alpha,\beta,\gamma+$$
$$+(1\ldots3)_0n^1+Q.$$

Energia de f. Q are următoarea distribuţie aproximativă:

Energia cinetică a fragmentelor de **f.**	165 MeV
Energia radiaţiei γ instantanee	7 MeV
Energia cinetică a neutronilor de **f.**	5 MeV
Energia particulelor β din produsele de **f.**	7 MeV
Energia radiaţiei γ din produsele de **f.**	6 MeV
Energia particulelor neutrino	10 MeV
Total energie de **f.**	$Q \approx 200$ MeV

Deoarece interacţionează foarte slab cu materia, particulele neutrino au o putere de pătrundere în materie extrem de mare; din această cauză, se consideră că toate particulele neutrino părăsesc zona de desfăşurare a reacţiei de **f.**, preluînd cu ele energia corespunzătoare de 10 MeV. Diferenţa de energie de 190 MeV (95%) se materializează, în final, prin diverse procese fizice, în căldură dezvoltată în zona vecină locului de desfăşurare a **f.** Valorificarea tehnică a energiei reacţiei de **f.** se face în reactorul nuclear.

Materiale fisionabile, materiale fertile. Există numai trei izotopi, care au suficientă stabilitate pentru a permite depozitarea lor pe timp îndelungat, şi anume: uraniul-233, uraniul-235 şi plutoniul-239, izotopi fisionabili, avînd neutroni cu energii cuprinse între energia termică (0,025 eV la 20°C) şi energii ridicate de ordinul 10^6 eV. Dintre aceştia, uraniul-235 este singurul care se găseşte în stare naturală, în proporţie de 0,7%, restul fiind uraniul-238; ceilalţi doi izotopi fisionabili, uraniul-233 şi plutoniul-239, sînt produşi în mod artificial, respectiv din thoriul-232 şi uraniul-238, prin captură de neutroni urmată de două trepte de dezintegrare radioactivă. Thoriul-232 şi uraniul-238 pot fisiona cu neutroni rapizi cu energie ridicată; aceşti izotopi nu fisionează cu neutroni cu energii sub 1 MeV, prezentînd fenomenul de captură radioactivă menţionat mai sus, din care cauză sînt numite materiale fertile.

Mecanismul f. nucleare. Există o anumită analogie între **f.** unui nucleu şi ruperea unei picături de lichid, ultimul proces fiind determinat de raportul dintre energia corespunzătoare forţelor de coeziune intermoleculare şi energia corespunzătoare tensiunii superficiale, deci de raportul dintre energia volumică şi energia superficială.

Modelul fizic al procesului de **f.** poate fi reprezentat prin ruperea unei picături de lichid (Fig. F.40). Fazele reacţiei de **f.**

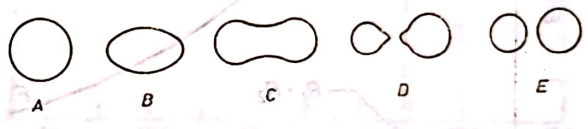


Fig. F.40. Modelul fizic al procesului de fisiune nucleară.

sînt următoarele: În faza *A*, nucleul, iniţial în formă sferică, absoarbe un neutron şi formează un nucleu compus excitat energetic. Energia de excitaţie a nucleului se compune din energia de legătură a neutronului (care reprezintă echivalentul energetic al defectului de masă, respectiv energia care ar fi eliberată dacă Z protoni şi $A-Z$ neutroni separaţi s-ar combina pentru a forma un nucleu) plus energia cinetică a neutronului înainte de captură. Z este numărul de ordine în tabelul periodic al elementelor, iar A numărul de masă. În fazele *B* şi *C*, ca rezultat al excesului de energie, nucleul compus efectuează o serie de oscilaţii care îl deformează (întîi în formă de elipsoid — faza *B*, apoi într-o formă similară halterelor — faza *C*). Dacă energia de oscilaţie este insuficientă pentru a produce deformarea nucleului dincolo de faza *B*, acesta revine la forma iniţială sferică, iar excesul de energie se emite ca fotoni γ. Faza *D* apare, cînd nucleul compus are energie de excitaţie suficientă să ajungă în forma *C* (energia superficială creşte foarte mult pentru aceeaşi energie volumică, depăşind-o pe aceasta), în care caz el evoluează rapid spre forma finală *E*. Faza *E* reprezintă **f.** nucleului în două nuclee separate, denumite fragmente sau produse de **f.**

Scanned with OKEN Scanner

Excesul de energie necesar unui nucleu pentru a se deforma din starea *A* în starea *C* poartă numele de **energie critică de f.** Energia critică de f. scade odată cu creşterea raportului Z^2/A (forţele de repulsie între nucleoni, care favorizează f., sînt proporţionale cu Z^2, iar forţele de atracţie sînt proporţionale cu *A*). În fig. F.41 se prezintă energia de f. cu ajutorul unei curbe de potenţial energetic, iar în tabelul F.6 se dau valo-

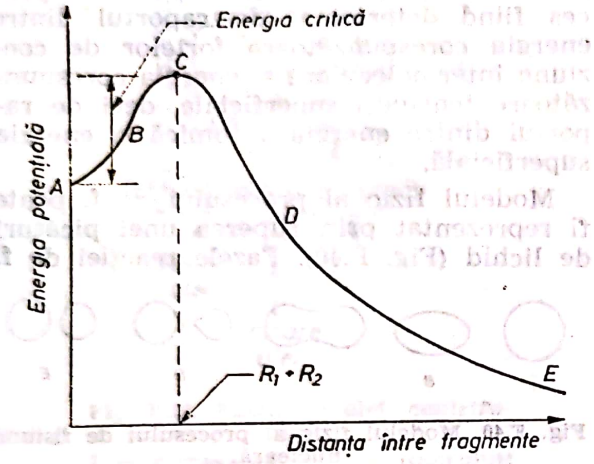


Fig. F.41. Energia critică de fisiune nucleară.

Tabelul F.6

Energia critică de fisiune

Nucleul	Z^2/A	Energia critică [MeV]	Energia de legătură a neutronului [MeV]
Thoriu-232	34,9	5,9	5,1
Uraniu-238	35,6	5,9	4,8
Uraniu-235	36,0	5,8	6,4
Uraniu-233	36,4	5,5	6,7
Plutoniu-239	37,0	5,5	6,4

rile acestei mărimi pentru unii izotopi. Se observă din tabel că, la uraniul-235, uraniul-233 şi plutoniul-239, energia de legătură a neutronului depăşeşte energia critică de f., aceasta putînd avea loc cu neutroni cu orice energie, chiar zero. În schimb, thoriul-232 şi uraniul-238, pot fisiona numai cu neutroni cu energia de cel puţin 1 MeV, energia de legătură a neutronului fiind aproximativ cu această valoare mai mică decît energia critică de f.

Probabilitatea reacţiei de f. Descrierea interacţiunii neutronilor cu nucleele atomice poate fi făcută cantitativ cu ajutorul conceptului de **secţiune eficace** σ, care reprezintă o măsură a probabilităţii realizării unei reacţii dintre un neutron şi un nucleu dat, exprimată sub forma unei suprafeţe de reacţie aferentă nucleului. Pentru un nucleu secţiunea eficace (microscopică) se măsoară în barni (1 barn $= 10^{-24}$ cm^2). Pentru unitatea de volum (1 cm^3) se defineşte secţiunea eficace macroscopică $\Sigma = N\sigma$ [cm^{-1}], în care *N* este numărul de nuclee pe cm^3, iar σ — secţiunea eficace microscopică [cm^2].

Reacţiile de absorbţie a neutronilor în nuclee decurg în două feluri: **captură radiativă** (cînd se formează un nou izotop, γ-radioactiv) şi fisiune, astfel încît: $\sigma_a = \sigma_{cr} + \sigma_f$. În tabelul F.7 se dau sec-

Tabelul F.7

Secţiunile eficace ale unor izotopi pentru neutroni termici cu viteza de 2 200 m/s

Nucleul	Fisiune σ_f, barn	Captură radiativă σ_{cr}, barn	Absorbţie totală σ_a, barn
Uraniu-233	527	54	581
Uraniu-235	577	106	683
Plutoniu-239	742	278	1 029
Uraniu-238	—	2,71	2,71
Uraniu natural	4,2	3,5	7,7

ţiunile eficace microscopice ale unor izotopi pentru neutroni termici la temperatura de 20°C (cînd au viteza de 2 200 m/s şi energia de 0,025 eV). De exemplu, în cazul uraniului-235, absorbţia unui neutron termic conduce la f. cu o probabilitate de 84% şi la captură radiativă în proporţie de 16%.

Probabilitatea reacţiei de f. cu neutroni rapizi este mult mai mică. Astfel, secţiunea eficace microscopică de f. cu neutroni rapizi este $\sigma_f = 1{,}44$ barn pentru uraniul-235, $\sigma_f = 0{,}112$ barn pentru uraniul-238 şi $\sigma_f = 1{,}78$ barn pentru plutoniul-239. Faptul, că secţiunea eficace de f. σ_f este de sute de ori mai mare la neutronii termici decît la cei rapizi, creează condiţii favorabile de desfăşurare a reacţiei de f. şi constituie principala cauză

pentru care, în tehnica nucleară actuală, s-au dezvoltat cu precădere reactoarele nucleare cu neutroni termici.

Neutronii de f. Fragmentele de f. sînt izotopi instabili ai elementelor cu număr de masă A mediu. În tabelul periodic al elementelor, cu creşterea numărului de ordine Z, se măreşte şi raportul dintre numărul de neutroni şi numărul de protoni care alcătuiesc un nucleu $n/p = (A-Z)/Z$ de la 1 (pentru elementele uşoare) la 1,6 (pentru elementele grele). Instabilitatea fragmentelor de f. se datoreşte faptului că prin f. ele au rezultat cu un raport n/p mai mare decît cel corespunzător condiţiilor de stabilitate. Ca urmare, din fragmentele de f. se eliberează 2—3 neutroni (de f.), realizîndu-se astfel condiţia de stabilitate menţionată mai sus. Numărul mediu de neutroni liberaţi pentru un neutron absorbit într-o reacţie de f., ν, are următoarele valori pentru nucleele fisionabile: $\nu=2{,}50$ pentru uraniul — 233, $\nu=2{,}43$ pentru uraniul — 235 şi $\nu=2{,}90$ pentru plutoniul — 239.

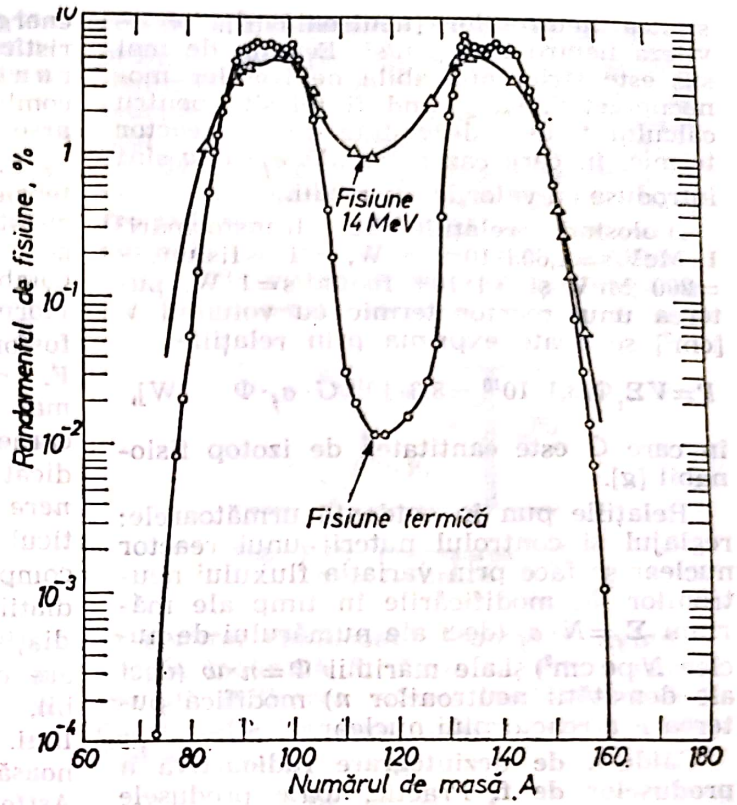


Fig. F.42. Randamentul de fisiune nucleară.

Neutronii dezvoltaţi în reacţiile de f. pot fi împărţiţi în două categorii: neutroni prompţi (rapizi), care reprezintă peste 99% din totalul neutronilor de f. şi sînt eliberaţi în mai puţin de 10^{-14} s din momentul f. şi neutroni întîrziaţi, care se eliberează din fragmentele de f. în decursul a cîteva ore de la reacţia de f., intensitatea emiterii lor scăzînd rapid cu timpul. Neutronii prompţi constituie elementul determinant în desfăşurarea în continuare a reacţiei de f., ca reacţie în lanţ întreţinută. Neutronii întîrziaţi reprezintă elementul determinant în reglarea puterii şi în controlul reactoarelor nucleare. Neutronii din f. sînt neutroni rapizi, cu energii cuprinse în intervalul $E=0{,}075\ldots17$ MeV, al căror spectru energetic este dat de relaţia:

$$n(E)=\sqrt{2\cdot\pi\cdot E}\,sh\sqrt{2\cdot E}\cdot e^{-E}=$$
$$=0{,}484\,sh\sqrt{2\cdot E}\cdot e^{-E},$$

unde $n(E)$ este numărul de neutroni cu energia E [MeV] cuprinşi în intervalul unitar de energie (1 MeV); majoritatea neutronilor au energii cuprinse între 1 MeV şi 2 MeV.

Reacţia de f. este însoţită de degajarea radiaţiilor γ clasificate ca prompte (apărute sub 0,1 μs) şi întîrziate.

Produse de f. S-a constatat că, de exemplu, pentru uraniul-235 procesul de f. decurge în aproximativ 40 de moduri diferite, producînd circa 80 de produse primare de f., cu numărul de masă A cuprins între 72 şi 160. Se defineşte ca randament de f. proporţia sau procentajul din numărul total de f. care formează produse avînd o anumită masă atomică (Fig. F.42), mărime care variază între 10^{-5}% şi 6% pentru cele 80 de produse de f. Aceste produse apar cu o frecvenţă mai mare în cadrul a două grupuri: grupul de produse uşoare ($A=80\ldots110$) şi grupul de produse grele ($A=125\ldots155$). Modul cel mai probabil de desfăşurare a reacţiei de f., reprezentînd circa 6,4% din total, conduce la produse cu numere de masă 95 şi 139.

Puterea unui reactor nuclear. Numărul de f. produse de un flux de neutroni monoenergetici $\Phi=nw$ [neutroni/cm$^2\cdot$s] este:

$$\text{Numărul de f.}=\Sigma_f\Phi=(N\cdot\sigma_f)(n\cdot w)$$
[fisiuni/cm$^3\cdot$s],

unde N este numărul de nuclee fisionabile pe cm^3; Σ_f — secţiunea eficace macroscopică de f. [cm^{-1}]; σ_f — secţiunea eficace microscopică de f. [cm^2]; n — den-

sitatea neutronilor [neutroni/cm^3]; w — viteza neutronilor [cm/s]. Ecuația de mai sus este strict aplicabilă neutronilor monoenergetici, ea putînd fi folosită pentru calculul puterii dezvoltate de un reactor termic, în care caz mărimile σ_f și w sînt introduse cu valorile lor medii.

Folosind relațiile de transformări: 1 MeV/s=1,603·10^{-13} W, 1 fisiune=200 MeV și 3,1·10^{10} fisiuni/s=1 W, puterea unui reactor termic cu volumul V [cm^3] se poate exprima prin relațiile:

$$P=V\Sigma_f\Phi/3{,}1\cdot10^{10}=8{,}3\cdot10^{10}\,G\cdot\sigma_f\cdot\Phi \quad [\text{W}],$$

în care G este cantitatea de izotop fisionabil [g].

Relațiile pun în evidență următoarele: reglajul și controlul puterii unui reactor nuclear se face prin variația fluxului neutronilor Φ; modificările în timp ale mărimii $\Sigma_f=N\cdot\sigma_f$ (deci ale numărului de nuclee N pe cm^3) și ale mărimii $\Phi=n\cdot w$ (deci ale densității neutronilor n) modifică puterea P a reactorului nuclear.

Căldura de dezintegrare radioactivă a produselor de f. Practic, toate produsele de f. sînt β radioactive, iar cea mai mare parte din acestea sînt, în același timp, și γ radioactive. O formulă aproximativă simplă care exprimă variația în timp (de la aproximativ 10 s la cîteva săptămîni) a intensității de emisie de energie a radiațiilor β și γ este:

$$I\approx2{,}8\cdot10^{-6}t^{-1{,}2} \quad [\text{MeV/s}\cdot\text{fisiune}].$$

Această energie apare în ultimă instanță sub formă de căldură, fiind numită căldură de dezintegrare radioactivă. Formula de mai sus poate fi aplicată unui reactor nuclear care a funcționat la o putere constantă P_0 [W] o perioadă τ_0 [zile], la sfîrșitul căreia a fost oprit. Puterea P [W] corespunzătoare căldurii de dezintegrare radioactivă, dezvoltată la timpul τ [zile], după oprirea reactorului nuclear este:

$$P/P_0=6{,}1\cdot10^{-3}[\,(\tau-\tau_0)^{0{,}2}-\tau^{0{,}2}].$$

Intervalul de timp $\tau-\tau_0$, în zile, este denumit perioadă de calmare sau de răcire. Existența căldurii de dezintegrare radioactivă face ca reactoarele nucleare să fie echipate cu sisteme speciale de răcire care funcționează după oprirea reactorului nuclear și cu bazine de calmare pentru răcirea elementelor combustibile uzate.

FLACĂRA. Zonă de reacție (de transformare chimică rapidă), cu radiație de energie electromagnetică vizibilă, caracteristică proceselor de ardere. Zona de reacție este localizată între amestecul combustibil (în amonte de f.) și gazele arse (în aval de f.).

F. apare atît în reacțiile puternic exoterme, cum sînt procesele de ardere ale substanțelor combustibile în aer sau oxigen, cît și în reacțiile între substanțe necombustibile și anumite gaze, cum sînt clorul și hidrogenul (ex.: reacțiile între fosfor și clor sau între clor și hidrogen). **F.** amestecurilor combustibile sînt cu atît mai luminoase, cu cît combustibilul este caracterizat printr-un raport c/H mai ridicat; în urma proceselor de *descompunere termică* (cracare) se formează particule de funingine care pînă la arderea completă emit un spectru continuu de radiații magnetice în spectrul vizibil. Radiația electromagnetică a gazelor din f. are o intensitate mică în domeniul vizibil, formînd un spectru de benzi sau de linii. **F.** este, deci, cu atît mai puțin luminoasă, cu cît raportul c/H este mai mic. Astfel hidrogenul și oxidul de carbon, în stare pură, ard practic cu f. invizibilă. Caracteristicile unor tipuri de f. sînt prezentate în Fig. F.43 (bec Bunsen) și Fig. F.44 (f. de arzător oxiacetilenic).

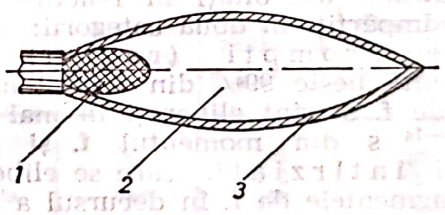


Fig. F.43. Flacără de bec Bunsen: 1 — nucleul flăcării (zona reductoare); 2 — zonă intermediară; 3 — mantaua flăcării (zona oxidantă).

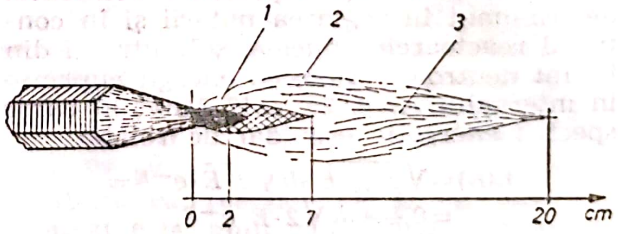


Fig. F.44. Flacără de arzător de sudură oxiacetilenică:
1 — nucleul flăcării; 2 — zona reductoare; 3 — flacără secundară.

Temperatura f. depinde de căldura de reacție a combustibilului, de mărimea f. și de căldura pierdută prin radiație sau

consumată de produsele de ardere. În tabelul F.8 sînt arătate valorile temperaturii f. unor combustibili, în cazul arderii în oxigen și în aer.

Tabelul F.8

Temperaturile flăcărilor unor combustibili

Combustibil	Temperatura flăcării [°C]	
	Ardere în oxigen	Ardere în aer
Oxid de carbon	2 080	1 680
Acetilenă	2 700—3 100	2 100
Hidrogen	2 280	1 770

Propagarea f. în amestecul aer—combustibil, variația concentrației gazelor și a gradientului de temperatură în zona de reacție (Fig. F.45), sînt condiționate de

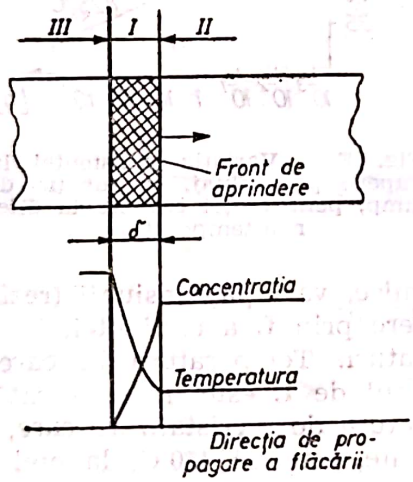


Fig. F.45. Propagarea flăcării într-un tub:
I — zona de reacție; *II* — amestec aer+combustibil; *III* — gaze arse.

caracteristicile reacției chimice, respectiv de transferul de căldură și transferul de masă. Astfel, inițierea și accelerarea reacțiilor de ardere este determinată atît de încălzirea gazelor proaspete, cît și de difuzia radicalilor activi (f. în gazele proaspete).

F. se numește **laminară**, dacă transferul de masă și de căldură se efectuează la scară moleculară (difuzie moleculară și conductibilitate termică). **F.** laminară este caracteristică propagării într-un amestec omogen în stare de repaus sau la curgerea laminară a amestecului aer—combustibil într-un tub. În acest caz, zona de reacție are o grosime δ_L foarte mică (de ordinul zecimilor de milimetru) și este denumită *front de* **f.** Se consideră că reacția se desfășoară practic pe o suprafață. Viteza cu care se deplasează frontul de **f.** în gazele proaspete se numește *viteză laminară sau normală* w_1. Dacă frontul de **f.** se dezvoltă pe o secțiune normală A pe direcția de propagare (Fig. F.46), viteza sa de deplasare față de gazele proaspete este w_a. Forma **f.** este

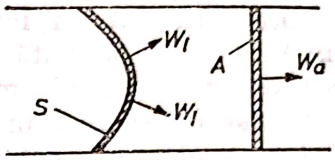


Fig. F.46. Propagarea flăcării laminare.

în general conturbată, frontul **f.** avînd o poziție înclinată S, viteza sa avînd valoarea w_1. Definirea vitezei laminare derivă din ecuația de continuitate în secțiunile S și A:

$$w_1 \cdot S = w_a \cdot A,$$

Deci, viteza laminară w_1 a **f.** este definită de debitul de gaze proaspete care traversează suprafața frontului de **f.**

Viteza de propagare a **f.** în unele mașini termice are valori foarte ridicate (30—40 m/s în camerele de ardere ale motoarelor cu ardere internă), caracteristice **f. turbulente**, respectiv arderii în medii turbulente. În acest caz, transferul de căldură și de masă din **f.** în amestecul proaspăt se face prin convecție și difuzie turbulentă, fapt care determină viteza mare de propagare a **f.** Datorită difuziei turbulente, suprafața **f.** este puternic ondulată, deformată și fărîmițată, astfel încît din **f.** se „rup" elemente, formîndu-se „insule" de **f.** și „goluri" în masa **f.** (Fig. F.47). Grosimea **f.** turbulente (δ_T) are va-

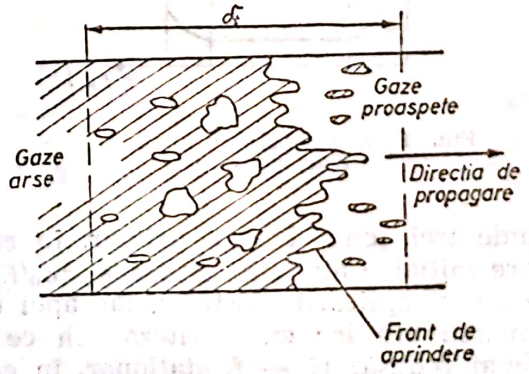


Fig. F.47. Propagarea flăcării turbulente.

Scanned with OKEN Scanner

lori apreciabile de ordinul zecilor de milimetri. Deoarece zona de reacție este mult mai largă, noțiunea de front de f. nu mai poate fi aplicată în arderea turbulentă. În acest caz, granița luminoasă care separă amestecul proaspăt de gaze de ardere este denumită *front de aprindere*. În spatele frontului de aprindere arderea continuă, deoarece există combustibil care nu a reacționat chimic.

Viteza de propagare a f. turbulente este direct proporțională cu intensitatea turbulenței. Acest fapt prezintă o importanță deosebită în domeniul motoarelor cu ardere internă, deoarece prin dirijarea intensității turbulenței se poate controla arderea în motor, este posibilă creșterea eficacității arderii.

FLUAJ. Variație în timp a dimensiunilor unei piese, supusă unui efort continuu. F. are ca efect alungirea (deformarea) remanentă a piesei, sub acțiunea unei tensiuni statice, constante și de valoare redusă, care, după o anumită perioadă de timp, produce ruperea piesei. Variația alungirii specifice în timp $\varepsilon=f(\tau)$, denumită viteză de f. la o anumită tensiune (efort) și la o anumită temperatură constantă, este reprezentată prin curba teoretică de f. (Fig. F.48), care cu-

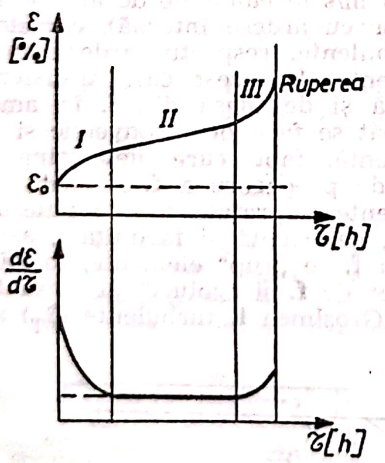


Fig. F.48. Curba teoretică și viteza de fluaj.

prinde trei zone: I — f. primar, în care apare inițial o alungire bruscă $\varepsilon_0=\sigma_0/E$ în momentul aplicării efortului, iar apoi deformarea are loc cu o viteză din ce în ce mai redusă; II — f. staționar, în care viteza de deformare este constantă și scăzută, fiind perioada cu cea mai lungă durată și cu cea mai mare importanță pentru funcționarea mașinilor și instalațiilor termice; III — f. terțiar, în care viteza de deformare crește rapid, avînd ca efect ruperea fragilă, perioadă în care timpul scade considerabil, pînă la rupere. Mărimea alungirii la rupere are valori de 5—6% pentru oțel-carbon și 2—4% pentru oțeluri aliate. Menținerea timp îndelungat a pieselor la eforturi și temperaturi ridicate conduce la apariția și intensificarea unor fenomene metalurgice (procese de precipitare, durificare, îmbătrînire etc.) care modifică continuu structura și proprietățile inițiale ale oțelurilor. În figura F.49 este reprezentată, în coordonate

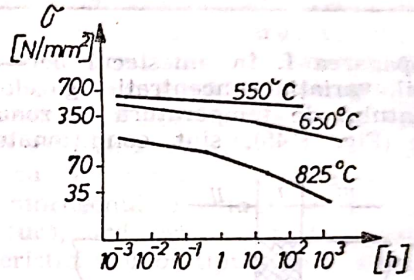


Fig. F.49. Variația rezistenței la rupere prin fluaj, în funcție de timp, pentru oțel carbon, la diferite temperaturi.

logaritmice, variația tensiunii (rezistenței) de rupere prin f. a unui oțel, la diferite temperaturi. Temperatura la care apare fenomenul de f. este mai ridicată decît temperatura de recristalizare care, la oțeluri aliate, este de 450°C, la oțel carbon 350°C, la cupru 270°C etc. Pentru a reduce f., oțelurile care se folosesc pînă la temperaturi de 600°C se aliază cu wolfram și molibden, iar la temperaturi mai mari de 600°C, se utilizează oțeluri austenitice. Pentru piesele sau subansamblurile care lucrează la o temperatură mai mare decît temperatura de apariție a f. și sînt supuse la presiune, alegerea materialului se face pe baza unor parametri cu valori garantate; *limita tehnică de* f. la alungirea de 1% la 100 000 h sau 10 000 h funcționare la temperatura de calcul (temperatura de funcționare +15°C) și *rezistența tehnică de durată* pe aceeași perioadă de timp și la aceeași temperatură. În tabelul F.9, se dau valorile celor doi parametri pentru cîteva oțeluri.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul F.9

Valorile garantate ale limitei tehnice de fluaj şi a rezistenţei tehnice de durată

Marca oţelului	Temperatura [°C]	Limita tehnică de fluaj [N/mm²]		Rezistenţa tehnică de durată [N/mm²]	
		1/10 000	1/100 000	10 000	100 000
OLT 35 K OLT 45 K	400	136	95	191	132
	450	81	49	112	68
	500*	38	20	51	29
16 Mo 3	450	215	166	303	239
	500	132	73	167	95
	530	84	36	100	47
14 CrMo 4	450	245	191	362	272
	500	156	98	206	129
	560*	63	30	85	40
10 CrMo 10	500	147	102	195	129
	550	83	49	103	64
	590	49	26	61	35
20NiWVMo Cr 120	500	—	—	294	248
	550	—	—	192	139
	600	—	—	101	63
	620*	—	—	74	35

* Valorile superioare ale temperaturii de la care nu mai este recomandată utilizarea oţelului respectiv.

FLUCTUAŢIE. Abatere spontană în timp a valorii unui parametru oarecare, care caracterizează un sistem aflat în echilibru termodinamic, de la valoarea lui constantă pe care trebuie să o aibă. **F.** de la starea de echilibru se datoresc mişcării continue a particulelor.

Abaterea mărimii variabile A de la valoarea ei medie statistică $\tilde{A}$ este diferenţa: $A-\tilde{A}$. Pentru exprimarea **f.** se utilizează şi media pătratului diferenţei $A-\tilde{A}$:

$$\Delta A=\sqrt{\widetilde{(A-\tilde{A})^2}}$$

sau abaterea pătratică medie relativă:

$$\frac{\Delta A}{\tilde{A}}=\sqrt{\frac{\widetilde{(A-\tilde{A})^2}}{(\tilde{A})^2}}.$$

Aceste medii se referă fie la o stare de echilibru termodinamic, fie la o stare staţionară. În unele cazuri, **f.** se pot evidenţia şi la regimuri nestaţionare.

În termodinamică, pe bază statistică, se consideră că **f.** de densitate, presiune, energie şi temperatură se datoresc mişcărilor moleculare de translaţie. Ele sînt produse de agitaţia termică şi de structura discontinuă a corpurilor şi se pot observa direct cu aparate suficient de sensibile.

F. de densitate ale unui fluid, $\Delta\rho/\tilde{\rho}$:

$$\frac{\Delta\rho}{\tilde{\rho}}=\left[-\frac{k\cdot T}{v^2\cdot\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_T}\right]^{1/2},$$

în care v este volumul specific al fluidului, p — presiunea, T — temperatura absolută; k — constanta lui Boltzmann. La gaze perfecte, se consideră N — numărul mediu de molecule din volumul v, **f.** de densitate fiind date de relaţia:

$$\frac{\Delta\rho}{\tilde{\rho}}=\frac{1}{\sqrt{\tilde{N}}}.$$

F. de densitate sînt cu atît mai pronunţate, cu cît cantitatea de substanţă considerată este mai mică.

F. de energie $\Delta E/\tilde{E}$:

$$\frac{\Delta E}{\tilde{E}}=\left[k\cdot T^2\,\frac{1}{(\tilde{E})^2}\cdot\left(\frac{\partial\tilde{E}}{\partial T}\right)_V\right]^{1/2}=$$

$$=\left[k\cdot T^2\cdot\frac{c_v}{(\tilde{E})^2}\right]^{1/2},$$

în care c_v este căldura specifică la volum constant. La gazul perfect monoatomic, unde:

$$\tilde{E}=\frac{3}{2}\cdot k\cdot\tilde{N}\cdot T,$$

f. de energie devin:

$$\frac{\Delta E}{\tilde{E}}=\sqrt{\frac{2}{3\cdot\tilde{N}}}.$$

F. de energie sînt foarte puternice în vecinătatea punctelor de transformare de fază, deoarece o transformare de fază începe întotdeauna prin apariţia unor mici regiuni dintr-o fază, în interiorul altei faze.

F. de presiune dintr-un fluid, $\Delta p/\tilde{p}$:

$$\frac{\Delta p}{\tilde{p}}=\left\{\frac{k\cdot T}{(\tilde{p})^2}:\left[\left(\frac{\partial\tilde{p}}{\partial V}\right)_T-\left(\frac{\partial\tilde{p}}{\partial T}\right)_V\right]\right\}^{1/2}.$$

Aceste **f.** dau o forţă rezultantă şi un moment rezultant diferit de zero, asupra unei particule microscopice — macroscopice la scară atomică, cufundată într-un

Scanned with OKEN Scanner

fluid, imprimîndu-i o mişcare dezordonată — mişcarea browniană.

În general, cînd **f.** de orice fel sînt mari şi frecvente, studierea fenomenelor prin termodinamica fenomenologică nu este indicată, fiind necesar utilizarea metodei fizicii statistice. Metoda de lucru cu ajutorul teoriei **f.** este diferită de aceea a termodinamicii statistice şi nu face obiectul aplicaţiilor în tehnică ale principiilor termodinamice. În termotehnică, se lucrează cu mase mari de gaz ce evoluează în maşini, adică cu un număr mare de molecule, ceea ce duce la o probabilitate de apariţie a fenomenului de **f.** infinit de mică.

FLUID. Corp ce are proprietatea fundamentală de a-şi schimba forma sub acţiunea unor forţe oricît de mici, deci, de a lua, într-un cîmp exterior de forţe constant, forma recipientului în care se află. Într-un **f.** în stare de echilibru nu pot exista tensiuni tangenţiale, ci numai tensiuni normale (presiuni).

Un **f.** se numeşte **perfect,** cînd forma lui poate fi modificată fără consum de energie, deci viscozitatea **f.** este nulă. În natură nu există nici un **f.** perfect, însă proprietăţile **f.** perfect pot fi studiate mai uşor decît cele ale **f. real** şi există numeroase cazuri în care calculele efectuate pentru un **f.** perfect se aplică unui **f.** real. În particular, statica **f.** reale este identică cu statica **f.** perfecte.

Un **f.** se numeşte **vîscos,** cînd forma unei zone a lui poate fi modificată numai cu consum de energie.

Un **f.** se numeşte **incompresibil,** dacă în studiul făcut asupra lui se poate neglija compresibilitatea. Neglijarea compresibilităţii **f.** este admisă numai la cercetarea fenomenelor în care viteza de propagare a undelor de presiuni nu influenţează desfăşurarea acestor fenomene.

Un **f.** se numeşte **compresibil,** dacă în studiul fenomenelor de echilibru şi de mişcare se ia în considerare variaţia volumului. În general, trebuie să se ţină seama de compresibilitatea **f.** în cazul maselor mari, în care se produc variaţii rapide de presiune (ex.: lovitura de berbec în conducte).

FLUIDITATE. Proprietate a unui corp sau a unui material (gaz, lichid) de a curge. Prin extensie, termenul este folosit şi pentru materialele granulate fine.

În mecanica fluidelor, inversul vîscozităţii dinamice η, exprimată în $N \cdot s/m^2$, poartă numele de **f.**: $\phi = 1/\eta$ (v. Vîscozitate dinamică).

FLUIDIZARE. Proces gazodinamic, utilizat pentru dispersarea unui strat granular fix, astfel încît contactul dintre gaz şi granulă să conducă la activarea fenomenelor de transfer de căldură şi masă. Astfel, în cursul **f.,** o parte din curentul de gaz traversează stratul granular şi antrenează cu el o parte din granule care, după ce ating o anumită înălţime, încep să coboare, dînd stratului aspectul unui fluid în fierbere.

Starea de **f.** reprezintă un sistem bifazic gaz-solid, fiind alcătuit din: o fază formată din particule solide printre care curge gaz şi o fază gazoasă în care se află în suspensie o parte din particulele solide. **F.** conduce la creşterea porozităţii stratului, reprezentînd o formă intermediară între patul fix şi antrenarea pneumatică a particulelor solide. În figura F.50,

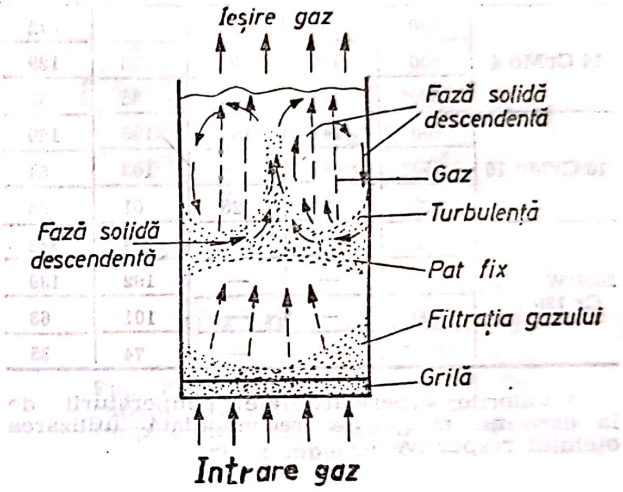


Fig. F.50. Modelul fizic al curgerii în pat fluidizat.

este prezentat modelul curgerii în pat fluidizat.

Viteza critică (minimă) de **f.** se determină cu relaţia:

$$w_{cr} = \frac{0{,}005 d^2 (\rho_p - \rho_g) \varepsilon_{cr}^2}{\mu_g \varphi^2 (1 - \varepsilon_{cr})} \quad \left[\frac{m}{s}\right],$$

unde: d este diametrul mediu al particulelor [m]; ε_{cr} — porozitatea la începutul fluidizării ($\varepsilon_{cr} = 0{,}4$ pentru particulele sferice); μ_g — vîscozitatea dinamică a gazului [Ns/m^2]; φ — factorul de formă al particulei ($\varphi = 1$ la particulele sferice); ρ_p, ρ_g — densitatea particulei, respectiv a gazului [kg/m^3].

Viteza la care particulele sînt antrenate, denumită *viteză de plutire* w_{pl}, reprezintă viteza maximă de **f.** Pentru particulele foarte fine, la care $Re = w_{pl} \cdot d \rho_g / \mu_g < 0{,}4$, raportul $w_{pl}/w_{cr} = 91{,}6$; iar pentru particule mari ($Re > 1\,000$), $w_{pl}/w_{cr} =$

8,72. O relație de legătură între viteza de f. și cea de plutire este:

$$\frac{w_{cr}}{w_{pl}} = 0{,}1175 - \frac{0{,}1040}{1+0{,}00373\,\mathrm{Ar}^{0.6}},$$

în care criteriul Arhimede este:

$$\mathrm{Ar} = \frac{gd^3}{\mu_g^2} \cdot \rho_g^2 \cdot \frac{\rho_p - \rho_g}{\rho_g}.$$

Pierderea de presiune în stratul fluidizat se poate determina cu relația:

$$\Delta p = 180 \frac{w \cdot \mu_g}{d^2 \varphi^2} \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 \quad [\mathrm{N/m^2}].$$

FLUX. Mărime scalară ce caracterizează un cîmp de vectori, egală cu produsul dintre valoarea vectorului care aparține cîmpului G, aria suprafeței din cîmpul respectiv și cosinusul unghiului dintre semidreapta orientată în același sens cu vectorul și sensul pozitiv al normalei la suprafață:

$$\int_S Gn \cdot dA = \int_S \overline{n} \cdot G \cdot dA = \int_S G \cdot dA =$$

$$= \int_S (n_x G_x + n_y G_y + n_z G_z) \cdot dA.$$

La suprafețele închise de linii curbe, avînd un sens de parcurs, orientarea elementelor de arie se realizează cu regula burghiului drept (Fig. F.51). La suprafețele plane, orientarea este pe normală (Fig. F.52). La suprafețele închise de o curbă cu mai multe spire (Fig. F.53), f. vectorului cîmpului este egal cu suma f. prin fiecare spiră a suprafeței care o delimitează. Dacă o linie de cîmp va străbate mai multe spire, ea tot de atîtea ori va participa la definirea f.

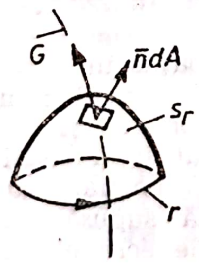


Fig. F.51. Fluxul în cazul unei cupe deschise.

S_Γ

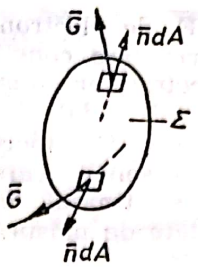


Fig. F.52. Fluxul în cazul unei cupe deschise Σ.

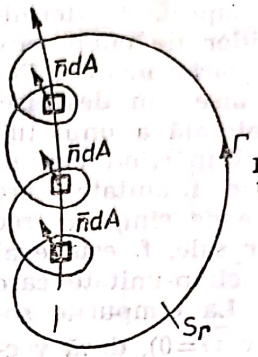


Fig. F.53. Fluxul în cazul unei cupe deschise cu mai multe spire.

F. magnetic este produsul dintre inducția magnetică B și aria suprafeței perpendiculare pe ea $\Phi = \int_S \overline{B} \cdot d\overline{A}$. Sensul f. magnetic se stabilește ca anterior și are ca unitate de măsură Wb (weber): 1 Wb $= 10^8$ Mx.

F. de energie este energia transmisă în unitatea de timp printr-o suprafață de arie dată.

F. luminos este cantitatea de energie luminoasă emisă de o sursă de lumină în unitatea de timp; are ca unitate de măsură lumenul (lm).

F. de căldură este cantitatea de căldură transmisă în unitatea de timp prin unitatea de suprafață; are ca unitate de măsură Watt-ul (W).

F. de particule reprezintă numărul de particule care străbate o suprafață de arie dată, în unitatea de timp. *Densitatea* f. de particule este egală cu intensitatea lui pentru unitatea de suprafață străbătută. F. de particule încărcate electric (f. de electroni) se folosesc pentru producerea și amplificarea undelor electromagnetice. Electronii se accelerează într-un cîmp static și apoi se frînează în cîmp de înaltă frecvență. Ei au o temperatură absolută $T = 10^{-5}$ K și, prin degenerare cuantică, au o comportare diferită de cea a electronilor din plasmele descărcărilor de gaze. Aici temperatura lor este foarte mare (mii de grade Kelvin) și concentrația lor este

de circa 10^6 electroni/m³. **F.** de electroni este tocmai curentul electric care constă în deplasarea dirijată a electronilor emiși de un catod aflat într-un tub vidat.

F. de energie sonoră reprezintă raportul dintre valoarea energiei sonore care străbate o suprafață dată și timpul în care o străbate; are ca unitate de măsură Watt-ul (W).

Tub de f. reprezintă suprafața determinată de totalitatea liniilor de cîmp care trec prin punctele unei curbe închise. Tuburile de **f.** pot fi închise sau deschise, iar **f.** prin suprafața laterală a unui tub de **f.** este identic nul. Împărțind cîmpul considerat în tuburi de **f.**-unitate care se înlocuiesc prin liniile de cîmp ce trec prin centrele secțiunilor sale, **f.** este egal cu numărul liniilor de cîmp-unitate care străbat suprafața dată. La cîmpurile solenoidale de vectori (div $\overline{G}=0$), dacă vectorul cîmp G derivă dintr-un potențial vector A ($G=\mathrm{rot}\ A$), **f.** lui prin orice suprafață închisă este nul, iar prin orice suprafață deschisă S_Γ, care se sprijină o anumită curbă Γ, este același și se poate calcula cu relația:

$$\int_{S_\Gamma} \overline{G}\cdot \mathrm{d}\overline{A} = \int_{S_\Gamma} \mathrm{rot}\ \overline{A}\cdot \mathrm{d}\overline{A} = \oint_{\Gamma} \overline{A}\cdot \mathrm{d}\overline{r},$$

în care $\mathrm{d}\overline{r}$ este elementul de linie al curbei Γ, al cărui sens este dat de regula burghiului drept în raport cu sensul de referință al **f. F.** prin orice secțiune transversală a tubului este același.

O altă definire a **f.**, din punct de vedere hidraulic, este curgerea continuă și relativ uniformă de materiale, gaze, lichide, particule etc.

FLUX TERMODINAMIC. Mărime scalară sau vectorială, utilizată pentru caracterizarea vitezei de transport printr-o suprafață a unei mărimi extensive într-un sistem termodinamic în stare de neechilibru termodinamic, datorită existenței în sistem a unui cîmp de forțe termodinamice. Este egal cu valoarea mărimii considerate care se transmite în unitatea de timp prin acea suprafață. Mărimea transportată este conservativă sau scalară (masă, energie), sau vectorială (impuls). Se exprimă prin integrala de suprafață a mărimii ce caracterizează local și instantaneu viteza de transport a mărimii prin unitatea de suprafață, numită densitate de flux.

Se exprimă pentru mărimi scalare prin:

$$J=\int_{\Sigma} \vec{S}\,\mathrm{d}\Sigma = \oint_{\Sigma} \vec{n}\vec{S}\,\mathrm{d}\Sigma$$

și pentru mărimi vectoriale:

$$\vec{J}=\oint_{\Sigma} \vec{n}\vec{S}\,\mathrm{d}\Sigma,$$

în care $\mathrm{d}\Sigma$ este elementul de suprafață; $\vec{n}$ — versorul normalei la suprafață; $\vec{s}$ — vectorul densitate de flux; $\vec{J}$ — fluxul. **F.t.,** conjugat cu forțele respective, variază în sensul reducerii acestora. Între fluxuri și forțe termodinamice există, în cazul proceselor ireversibile, în vecinătatea stărilor de echilibru, o relație liniară exprimată prin legile (ecuațiile) fenomenologice:

$$J_i=\Sigma L_{ik}X_k.$$

Coeficienții L_{ik} sînt *coeficienții fenomenologici;* pot fi funcții arbitrare de parametrii de stare (temperatură, presiune, compoziție) și se presupune că sînt independenți de forțele și **f.t.**

Exemple de ecuații fenomenologice: Legea lui Fick pentru dependența liniară, flux de masă — gradient concentrație; legea lui Fourier pentru conducția termică; legea lui Ohm pentru conducția electrică; relația liniară dintre viteza de reacție și afinitatea chimică pentru reacțiile în apropierea stadiilor de echilibru chimic.

FOCAR. Spațiu în care se desfășoară procesul de ardere al unui combustibil. **F.** poartă denumirea și de spațiu de ardere. În general, în **f.** instalațiilor termice sînt amplasate, parțial sau total, fie încărcătura utilă supusă uscării (în cazul cuptoarelor), fie ecranele de radiație sau serpentinele prin care circulă agenții termici (în cazul generatoarelor de abur). Forma, dimensiunile și soluția constructivă adoptată pentru **f.** depind de volumul și lungimea flăcării, precum și de natura combustibilului utilizat și tipul arzătorului. Un element caracteristic îl reprezintă gradul de încărcare al **f.** (sarcina termică):

$$q=\frac{B(H_i+H_a)}{3\,600V\cdot 10^3}\cdot\frac{p}{p_b}\quad [\mathrm{W/m^3}],$$

în care H_i este puterea calorică inferioară a combustibilului [kJ/kg sau kJ/m^3_N]; H_a — entalpia aerului la intrarea în f. [kJ/kg cb. sau kJ/m^3_N cb.]; V — volumul f. [m^3], B — consumul de combustibil [kg/h sau m^3_N/b], p — presiunea din f. [N/m^2]; p_b — presiunea atmosferică [N/m^2]. În tabelul F.10 este dată sarcina termică pentru cîteva tipuri de f.

Tabelul F.10

Sarcina termică a focarului în funcție de natura combustibilului

Natura combustibilului	Temperatura în focar [°C]	Încărcarea termică q [W/m^3]
Praf de cărbune	800—1 000 1 000—1 600	145 000—230 000 230 000—1 100 000
Păcură (ardere la presiune atmosferică)	1 000—1 600	230 000—1 000 000
Idem sub presiune (2—3 bar)	1 600—2 000	4 500 000—7 000 000
Gaz natural	1 400—1 600	150 000—300 000 (500 000)

F. generatoarelor de abur se clasifică după natura combustibilului utilizat.

F. pentru combustibili gazoși sînt caracterizate printr-o vatră plană și o strangulare de secțiune de 1/3 sau 2/3 din înălțime, necesară pentru o mai bună amestecare a gazelor de ardere, ceea ce are ca efect îmbunătățirea calității arderii (Fig. F.54). Atunci cînd f. dispune de mai multe arzătoare, amplasarea lor

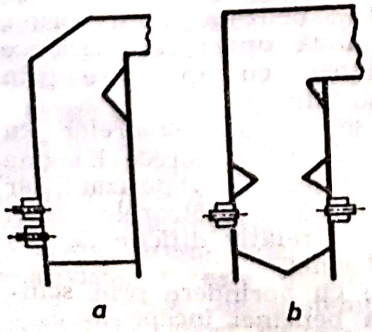


Fig. F.54. Focare pentru combustibili gazoși.

se face fie frontal (Fig. F.54 *a*), fie în opoziție (Fig. F.54 *b*), în care caz jeturile de gaze calde se întîlnesc în centrul f. Alegerea numărului de arzătoare și a unghiului lor de amplasare se face astfel, încît încărcarea termică a f. să fie cît mai uniformă.

La **f. pentru combustibili lichizi** (în care se ard combustibili lichizi), dispoziția arzătoarelor trebuie să se realizeze astfel, încît axele lor să fie tangente unui cerc imaginar (cu diametrul de circa 1 m (Fig. F.55 *b*, *c*). Atunci cînd amplasarea

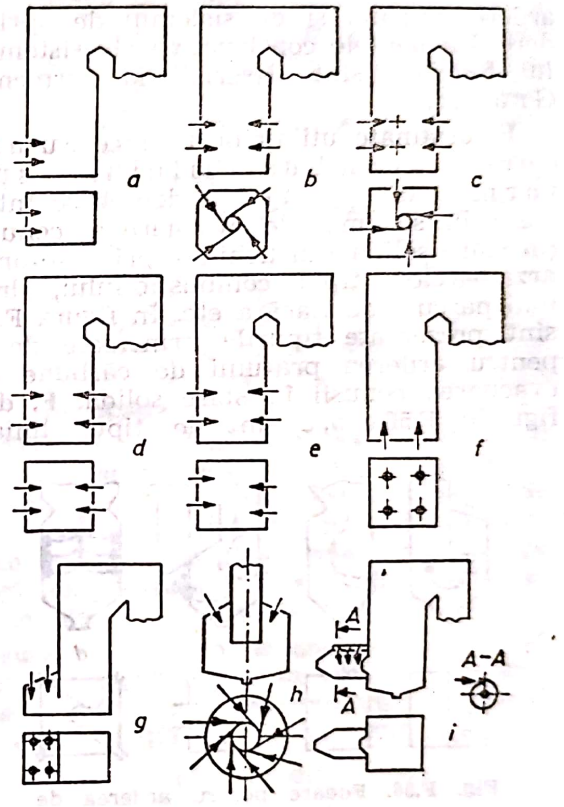


Fig. F.55. Focare pentru combustibili lichizi.

arzătoarelor se face pe pereții laterali opuși (Fig. F.55 *d*, *e*), prin intersectarea jeturilor de gaze (sau a flăcărilor) se realizează o turbionare pronunțată, avînd ca efect creșterea stabilității procesului de ardere. Dispunerea arzătoarelor în vatra sau în tavanul f. (Fig. F.55 *a*, *f*, *g*) este tipică instalațiilor mici și conduce la o distribuție mai uniformă a sarcinii termice. În cazul arderii combustibililor lichizi grei, se pot utiliza f. ciclon (Fig. F.55 *h*) sau f. orizontale (Fig. F. 55 *i*), la care, datorită turbionării foarte puternice, se poate realiza o ardere cu un coeficient de ex-

ces de aer scăzut şi o încărcare termică ridicată.

F. pentru combustibili solizi se împart în două grupe: **f. cu grătar şi f. pentru** arderea combustibilului sub formă pulverizată (praf).

F. cu grătar, folosite la arderea combustibilului în strat pe grătar, sînt caracteristice generatoarelor de abur de putere mică şi medie. **F.** de acest tip sînt echipate cu grătare care diferă între ele prin gradul de mecanizare, sistemul de alimentare cu combustibil, deplasarea şi răscolirea stratului în timpul arderii, modul de evacuare a zgurii şi cenuşii, modul de circulaţie al aerului şi gazelor de ardere, precum şi de sistemul de aprindere. Elementele constructive ale sistemului **f.-grătar** sînt descrise la termenul Grătar.

F. destinate utilajelor termice **cu arderea combustibilului sub formă de praf** se deosebesc între ele prin sistemul de evacuare a cenuşii (în stare solidă sau lichidă), prin aşezarea arzătoarelor, tipul combustibilului, drumul parcurs de flacără etc. În figura F.56 sînt prezentate tipurile principale de **f.** pentru arderea prafului de cărbune cu evacuarea cenuşii în stare solidă. **F.** din figurile F.56 *a, b, c* sînt de tipul liniar,

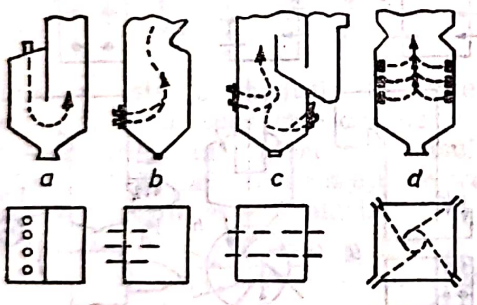


Fig. F.56. Focare pentru arderea de cărbune praf.

curgerea gazelor avînd loc după o singură direcţie. La **f.** centripete (Fig. F.56 *d*), curgerea gazelor are loc de la exterior spre interiorul **f.** Dispunerea arzătoarelor este asemănătoare cu cea prezentată la **f.** pentru combustibili lichizi, în scopul obţinerii unei arderi cît mai complete şi cu un exces de aer cît mai scăzut. La **f.** la care evacuarea zgurii se face în stare lichidă, procesul de ardere trebuie astfel realizat, încît la partea inferioară să fie menţinută o temperatură mai ridicată decît temperatura de topire a cenuşii. La aceste **f.**, arzătoarele sînt îndreptate către camera de topire (Fig. F.57) pentru menţinerea unei temperaturi corespunzătoare, deasupra punctului de topire al cenuşii.

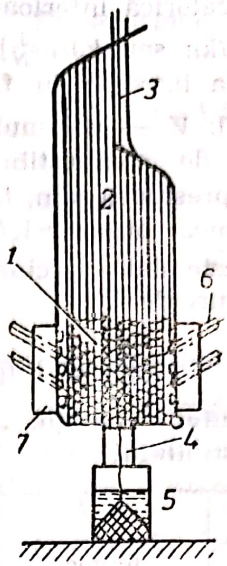


Fig. F.57. Focar pentru cărbune pulverizat (praf), cu evacuarea lichidă a cenuşii: *1* — cameră de topire; *2* — spaţiu de circulaţie a gazelor; *3*— fascicul de ţevi; *4* — racord de evacuare; *5* — rezervor de colectare; *6* — arzătoare; *7* — cameră de colectoare de aer comprimat.

FORMAREA AMESTECULUI. Procesul de preparare a unui amestec omogen aer—combustibil, necesar arderii în motoarele cu ardere internă sau în focare.

În cazul motoarelor cu ardere internă funcţionînd cu combustibil lichid, omogenizarea amestecului aer—combustibil se realizează în fază gazoasă, prin pulverizarea şi vaporizarea rapidă a combustibilului lichid şi, respectiv, distribuirea combustibilului pulverizat în aer sau a aerului în zonele de concentraţie mare de combustibil.

Pulverizarea combustibilului lichid se obţine prin mărirea vitezei relative între combustibil şi aer. Mărirea vitezei relative între cele două fluide se realizează prin două metode:

— mărirea vitezei unui curent de aer în raport cu viteza unui jet de combustibil; procedeul se numeşte **carburaţie** şi se obţine într-un aparat numit carburator (v. Carburator);

— mărirea vitezei unui jet de combustibil în raport cu viteza unei mase de aer; procedeul se numeşte **injecţie** şi se realizează cu un aparat numit injector (v. Injector).

Cele două procedee corespund combustibililor principali pentru motoare cu ardere internă — benzina şi motorina, respectiv celor două tipuri caracteristice de motoare: motoare cu aprindere prin scînteie şi motoare diesel.

Carburaţia se aplică *motoarelor cu aprindere prin scînteie*, deoarece benzina are calităţi foarte bune de vaporizare, iar injecţia se utilizează la motoarele diesel datorită condiţiilor relativ dificile de vaporizare ale motorinei.

La motoarele cu aprindere prin scînteie, vaporizarea benzinei începe în car-

Scanned with OKEN Scanner

burator, continuă în conducta de admisie, ultimile fracțiuni de combustibil vaporizîndu-se în cilindrul motorului. Amestecul aer—combustibil se formează înainte de intrarea în cilindru, motoarele cu aprindere prin scînteie fiind motoare cu **f.a.** în exterior.

La *motoarele diesel*, motorina se poate vaporiza numai în cilindrul motorului, la sfîrșitul cursei de comprimare, cînd sînt create condițiile de temperatură (350—400°C) corespunzătoare vaporizării fracțiunilor grele din motorină. Amestecul aer—combustibil formîndu-se în cilindru, motoarele diesel sînt numite motoare cu **f. a.** în interior.

F. a. în exterior este calitativ superioară, datorită perioadei de timp mai mari (de 5—8 ori) pe care o are la dispoziție procesul, în raport cu formarea interioară a amestecului. La motoarele cu aprindere prin scînteie, amestecul aer—combustibil dispune de 360 grade rotații arbore cotit (RAC), în timp ce la motoarele diesel, durata este redusă la 40—80 grade RAC.

Calitățile mai scăzute ale **f.a.** în motoarele diesel au implicații directe asupra construcției și funcționării acestor motoare:

— dimensiuni mai mari ale cilindrului (și în consecință ale motorului) pentru reținerea unei cantități de aer mai mari decît cea necesară arderii stoichiometrice (v. Exces de aer);

— turații mai scăzute în raport cu motoarele cu aprindere prin scînteie, avînd în vedere durata pe ciclu afectată **f. a.** care este invers proporțională cu turația.

În scopul îmbunătățirii condițiilor de formare a amestecului în motoarele diesel, se utilizează diferite soluții constructive privind crearea unei turbulențe puternice în timpul fazelor de admisie și comprimare. Cele mai utilizate soluții sînt: canale de admisie din culasă avînd formă specială, care imprimă aerului o mișcare de rotație la intrarea în cilindru (motoare diesel cu injecție directă) și dirijarea mișcării aerului în perioada de comprimare printr-o arhitectură adecvată a camerei de ardere, respectiv utilizarea camerelor de ardere de mare turbulență (v. Cameră de ardere).

FORȚĂ. Mărime vectorială de relație între un sistem fizic și un corp, egală cu derivata în raport cu timpul a impulsului acestuia față de sistemul de referință inerțial, determinată exclusiv de prezența acelui sistem fizic. Conform mecanicii relativiste, **f.** este o mărime relativă, adică depinde de sistemul de referință inerțial în raport cu care se definește.

În studiul termodinamicii și al mașinilor termice, se utilizează următoarele tipuri de **f.**:

— **f. de expansiune,** reprezentînd **f.** exercitată de un gaz, atunci cînd este introdus într-un spațiu în care se află un alt gaz cu presiune mai mică;

— **f. de presiune a gazului,** reprezentînd rezultanta presiunilor exercitate de un gaz asupra unui corp cu care se află în contact;

— **f. termică,** care apare datorită unei diferențe de temperatură între două corpuri (sau două suprafețe);

— **f. de propulsie,** care se exercită la un organ de propulsie al unui vehicul, produsă prin consum de energie din interiorul acestuia sau prin transformarea energiei primite din exterior;

— **f. de tracțiune** care este **f.** pe care un organ de propulsie o exercită asupra unui sistem tehnic, pentru a-l pune sau pentru a-l menține în mișcare. **F.** de tracțiune este o **f.** activă ce trebuie să învingă rezistențele pe care le întîmpină sistemul tehnic considerat la pornire sau în deplasare.

FORȚĂ GENERALIZATĂ. Derivata funcției caracteristice pentru un sistem termodinamic, în raport cu parametrii de stare externi. Pentru sistemele termodinamice complexe o stare este definită, pe lîngă temperatura T și volumul specific v, și de alți parametri de stare externi x_k. Măsura schimbului de energie cu mediul exterior al sistemului la variația parametrilor externi este reprezentată de lucrul mecanic, relația de calcul fiind:

$$dl_k = Y_k\, dx_k,$$

în care Y_k reprezintă forța care acționează din exterior asupra sistemului și x_k parametrul de stare conjugat cu **f. g.** X_k, **F. g.** Y_k reprezintă mărimi de stare intensive, în timp ce x_k sînt parametri de stare extensivi. Prin analogie, pentru expresia cantității de căldură:

$$dq = T\,ds,$$

se poate defini entropia s ca fiind parametrul de stare conjugat, temperatura avînd rolul **f. g.**

Pentru sistemele termodinamice complexe, ecuația fundamentală a termodinamicii proceselor reversibile capătă expresia:

$$Tds = du + Y_k\, dx_k;$$

Scanned with OKEN Scanner

introducînd funcţiile caracteristice ∅ (potenţialele termodinamice), rezultă **f. g.** sub forma ecuaţiilor termice de stare prin derivatele parţiale ale funcţiilor caracteristice în raport cu parametrul de stare conjugat,

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x_k} = -Y_k.$$

Exemple:

— Lucrul mecanic efectuat prin dilatare împotriva forţelor de presiune:

$$đl = p dv,$$

p fiind **f.g.**, iar v — parametrul de stare conjugat cu presiunea;

— Lucrul mecanic efectuat la variaţia suprafeţei:

$$đL = -\sigma d\,\Sigma,$$

unde σ este tensiunea superficială a **f. g.**, iar Σ — suprafaţa sistemului conjugat cu tensiunea superficială;

Lucrul mecanic efectuat la polarizarea unui dielectric în cîmp:

$$đL = \frac{1}{4\pi}(E_x dD_x + E_y dD_y + E_z dD_z),$$

în care **f.g.** reprezintă intensitatea cîmpului electric E, parametrul conjugat fiind inducţia electrică D, în cazul cîmpului magnetic izotrop,

$$đL = -\frac{1}{4\pi}(\vec{E} \cdot d\vec{D});$$

— Lucrul mecanic la variaţia cîmpului magnetic într-o substanţă cu inducţia magnetică:

$$đL = \frac{1}{4\pi}(H_x dB_x + H_y dB_y + H_z dB_z),$$

în care H intensitatea cîmpului magnetic este **f.g.**, iar B (inducţia magnetică) este parametrul de stare conjugat.

În cazul sistemelor ai căror componenţi au masa invariabilă, lucrul mecanic efectuat de **f. g.** se exprimă prin variaţia funcţiilor caracteristice corespunzătoare condiţiilor de evoluţie a sistemelor respective.

FORŢE TERMODINAMICE. Gradienţi ai mărimilor de stare intensive ale unui sistem termodinamic. În afara stării de echilibru, un sistem termodinamic este caracterizat prin existenţa, în interiorul său, a parametrilor de stare intensivi neuniformi. Existenţa **f. t.** în sistem reprezintă cauza proceselor ireversibile, sub acţiunea lor producîndu-se fluxurile termodinamice (v. Flux termodinamic).

Exemple: X_u = grad T pentru conducţia termică; X_c = grad (c_i) pentru difuzie, în care c_i este concentraţia componentului C_i; grad w pentru transferul de impuls.

Evoluţia sistemului spre starea de echilibru tinde să anuleze **f. t.**, dar, experimental, se constată că se produc fluxuri cuplate pe lîngă cele conjugate cu caracteristica contrară fluxului conjugat cu **f. t.**, şi anume: în timp ce fluxul conjugat tinde să anuleze forţa iniţială, fluxurile cuplate îndepărtează sistemul de starea de echilibru, producînd alte forţe conjugate cu fluxurile cuplate. Cauzele cuplărilor sînt de ordin cinetic şi pot fi exprimate prin teoria cinetico-moleculară sau prin modelele fizicii statistice.

Exemple: — Efectul Dufour (existenţa unui gradient de concentraţie cuplat cu flux de energie;

— Efectul Soret (existenţa unui gradient de temperatură induce şi un flux de masă) (v. Termodifuzie; Procese de transport conjugate, cuplate).

FOURIER, Joseph. Matematician şi fizician francez (1768—1830). În 1811, a stabilit legea propagării căldurii prin conductibilitate [v. Fourier (Legea lui)].

FOURIER (Legea lui). „Cantitatea de căldură transmisă prin conductibilitate într-un corp este proporţională cu gradientul de temperatură, cu timpul şi cu aria secţiunii perpendiculară pe direcţia de propagare a căldurii". Expresia matematică a legii este:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} \cdot dF \cdot d\tau.$$

Efectuînd bilanţul termic asupra unui element de volum din corpul supus transferului de căldură prin conductibilitate, din legea lui Fourier se obţine ecuaţia lui Fourier şi anume:

$$a \cdot \nabla_t^2 = \frac{\partial t}{\partial \tau},$$

în care: $a = \lambda / c \cdot l$ este coeficientul de difuzibilitate termică a materialului corpului considerat, iar ∇_t^2 este laplacianul de temperatură:

$$\Delta_t^2 = \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}.$$

Ecuaţia respectivă se aplică la corpurile lipsite de surse interioare de căldură, iar λ este conductivitatea termică a corpului (v. Conductivitate termică).

Scanned with OKEN Scanner

FRACȚIE MASICĂ. Mod de exprimare a compoziției sistemelor termodinamice multicomponente, definit ca raport dintre densitatea componentului ρ_i și densitatea întregului sistem ρ:

$$(C_\rho)_i = \frac{\rho_i}{\rho},$$

cu condiția:

$$\sum_{i=1}^{m} (C_\rho)_i = 1.$$

FRACȚIE MOLARĂ. Mod de exprimare a compoziției sistemelor multicomponente, ca fiind raportul dintre numărul de moli al unui component considerat și numărul total de moli al componenților prezenți în sistem:

$$r_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^{m} n_i}.$$

cu condiția:

$$\sum_{i=1}^{m} r_i = 1.$$

FRACȚIONARE. Operație de separare a unor componente sau grupe de componente dintr-un amestec omogen lichid sau gazos prin procedee fizice. Se realizează prin: distilare, rectificare, cristalizare, dizolvare, adsorbție.

Distilare fracționată. Operație de separare a unui amestec omogen de lichide în fracțiuni din ce în ce mai bogate în componentele mai puțin volatile, pe baza diferențelor presiunilor de vapori (temperaturilor de fierbere) și condensarea vaporilor obținuți. Se bazează pe variația presiunii vaporilor saturați ai lichidelor cu temperatura și pe diferența dintre compoziția amestecului lichid și a vaporilor cu care se află în echilibru. Poate fi efectuată la presiunea atmosferică, la presiune ridicată — cînd se separă amestecuri lichide cu temperatură de fierbere joasă (sub 50°C) sau amestecuri de gaze, sau la presiune scăzută (vid) pentru a micșora temperatura de fierbere a componentelor, în scopul evitării descompunerii termice.

Rectificare. Operație de separare a componentelor unui amestec pe baza diferenței temperaturilor de fierbere, care constă într-o succesiune de evaporări și condensări, o parte din lichidul rezultat prin condensarea vaporilor fiind recirculat în instalație sub formă de reflux. Refluxul circulă de sus în jos, în sens invers cu vaporii, realizînd schimbul de căldură cu aceștia. Componentele mai puțin volatile din vapori condensează și vaporii se îmbogățesc în componentele volatile, mărind eficiența separării. Rectificarea se realizează în coloane, în care are loc un număr mare de condensări parțiale. În construcția coloanelor se urmărește obținerea unei suprafețe de contact cît mai mari între vapori și reflux. În tehnica distilării, acest lucru s-a realizat utilizînd coloane cu talere, clopote, umplutură și talere rotative. Distilarea cu rectificare se utilizează în industria petrolieră, a gazelor de cocserie lichefiate, a alcoolilor etc.

Cristalizarea fracționată. Operație de separare a componentelor unei soluții pe baza diferenței de solubilitate a acestora într-un solvent sau amestec de solvenți prin cristalizare (cristalizează întîi substanța cea mai puțin solubilă). Se realizează prin răcirea sau concentrarea soluției amestecului de substanțe. Este utilizată, de exemplu, pentru fracționarea parafinelor, separarea izomerilor nitroclorbenzenului, a clorurilor de sodiu și calciu în industria sodei etc.

Dizolvare fracționată. Operație de separare a componentelor unei soluții sau a unui amestec eterogen pe baza diferenței de solubilitate, prin dizolvare într-un solvent sau amestec de solvenți. Se realizează prin două tehnici experimentale: extracție și cromatografie lichid-lichid sau gaz-lichid.

Extracția constă în separarea uneia sau a mai multor componente dintr-un amestec omogen (soluție) sau eterogen prin dizolvare într-un solvent. După starea de agregare a amestecului ce se extrage, se deosebesc: *extracție solid-lichid* și *lichid-lichid*. Dacă solventul dizolvă preferențial una sau mai multe componente, extracția se numește cu solvent selectiv. În cazul extracției lichid-lichid, se folosește un solvent nemiscibil (sau parțial miscibil) cu primul. Extracția nu este completă, ci are loc o repartiție de echilibru a substanței între cei doi solvenți, raportul concentrației acestora, numit coeficient de repartiție, fiind independent de cantitatea de substanță dizolvată. Deci, pentru ca extracția să fie cît mai completă trebuie repetată operația de un număr de ori. Extracția se folosește în industriile chimică, farmaceutică, alimentară, petrolieră (ex.: extracția fenolului din apele fenolice, a hidrocarburilor aromatice din benzine, a substanțelor active din plante sau organe animale, a uleiurilor vegetale din semințe, a zahărului din sfecla de zahăr).

Cromatografia constă în separarea substanțelor dintr-un amestec prin repartiția diferită între o fază staționară

Scanned with OKEN Scanner

(lichidă) introdusă într-o coloană şi o fază mobilă (lichidă sau gazoasă), care percolează prin prima. Cu cît interacţiunea substanţei cu faza staţionară este mai puternică, cu atît timpul de reţinere (timpul după care substanţa iese din coloană) sau volumul de reţinere (volumul de fază mobilă în care se găseşte substanţa) este mai mare. Primul tip de cromatografie se numeşte cromatografie *lichid-lichid*, iar al doilea *gaz-lichid*. Alegînd în mod convenabil faza staţionară şi lungimea coloanei, eficienţa unor asemenea fracţionări devine foarte mare. Metoda poate fi folosită atît analitic (pentru identificarea componentelor), cît şi preparativ (pentru separarea lor).

F. prin adsorbţie. Operaţie de separare a componentelor unui amestec omogen prin acumulare la interfeţe (solid-gaz, solid-lichid, lichid-lichid, lichid-gaz). Stă la baza proceselor de separare prin cromatografie pe coloană, cromatografie pe hîrtie şi cromatografie în strat subţire. Amestecul ce urmează a fi separat se introduce pe la partea superioară a unei coloane umplută cu adsorbant (oxid de aluminiu, oxid de magneziu, oxid de calciu, carbonat de calciu etc.) sau pe la partea inferioară a unei hîrtii, respectiv plăci de sticlă pe care este fixat un strat subţire de adsorbant (silicagel, alumină), care este introdusă vertical într-o baie de solvent (eluent). Componentele adsorbite mai puternic se găsesc mai aproape de punctul de introducere; cu cît sînt adsorbite mai slab, cu atît sînt mai departe de acest punct. Se realizează astfel o separare a componentelor.

Fracţionarea ţiţeiului. Operaţie de separare a fracţiunilor de ţiţei cu temperaturi de fierbere diferite, efectuată prin distilare. Acesta este procedeul industrial de separare a ţiţeiului în fracţiunile componente uzuale: benzină, petrol, motorină etc. Se aplică la separarea produşilor care provin de la procesele de cracare termică şi catalitică, la separarea gazelor în hidrocarburile componente etc. Procedeele de distilare extractivă şi azeotropă se folosesc numai în cazurile în care se urmăreşte separarea compuşilor cu puncte de fierbere apropiate.

Dintre numeroasele aplicaţii ale distilării în industria prelucrării ţiţeiului şi a derivatelor sale sînt de considerat numai următoarele două: separarea prin distilare a propanului, izobutanului şi *n*-butanului dintr-o benzină uşoară şi distilarea ţiţeiului.

La separarea prin distilare a propanului, izobutanului şi *n*-butanului, trebuie să se monteze la instalaţia de distilare trei coloane de fracţionare, putîndu-se aplica una dintre schemele de principiu din figura F.58 *a-e*,

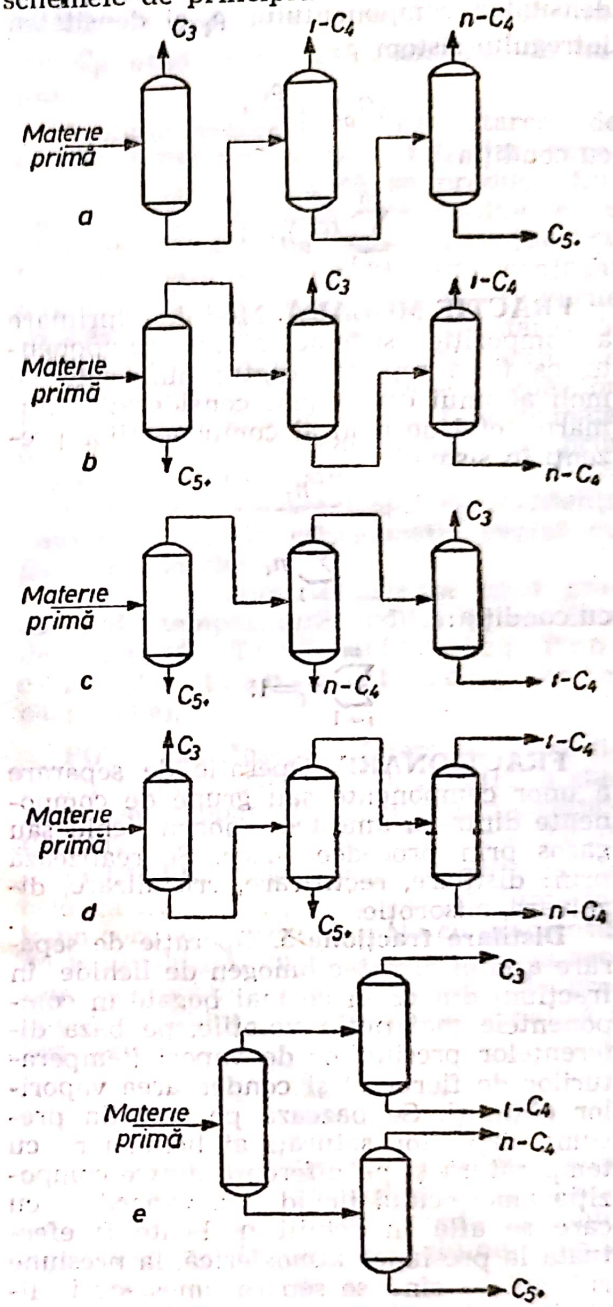


Fig. F.58. Instalaţie de separare prin distilare a propanului, izobutanului şi a *n*-butanului, dintr-o benzină uşoară.

în care s-a notat cu C_3 propanul, cu *i*-C_4 izobutanul, cu *n*-C_4 normalbutanul, iar cu C_{5+} componenţii materiei prime, consistînd din pentan şi din hidrocarburi mai grele. C_3 se obţine numai ca fracţiune de cap, iar C_{5+}, numai ca fracţiune de fund, în toate schemele. *i*-C_4 şi *n*-C_4 se pot obţine atît ca fracţiuni de cap, cît şi ca fracţiuni de fund ale coloanelor de distilare. Adoptarea uneia sau alteia dintre schemele din figura F.58 depinde de compoziţia materiei

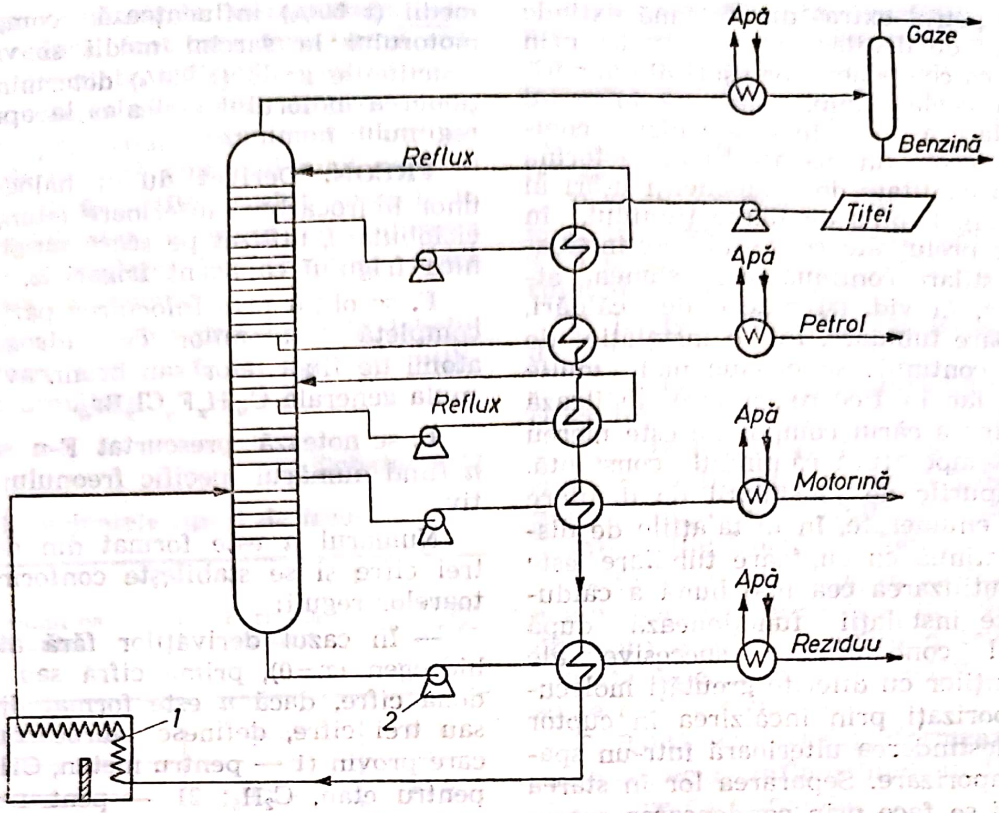


Fig. F.59. Instalație de distilare a țițeiului cu o singură coloană de fracționare:
1 — cuptor; *2* — pompă.

prime și de gradul de puritate impus produselor. În general, se urmărește ca în fiecare coloană raportul dintre cantitatea de produs de cap și de fund să fie cît mai apropiat de unu. În aceste condiții, se obține puritatea dorită a produșilor cu un consum de energie mai mic.

La distilarea țițeiului se urmărește obținerea de fracțiuni cu domenii de fierbere determinate, ale căror proprietăți corespund unor produse comerciale de calitatea dorită. Astfel, de exemplu, se obține benzina cu domeniul de distilare între 40 și 200°, petrolul cu domeniul de distilare între 200 și 300°, motorina cu domeniul de distilare între 250 și 350° etc. Distilarea țițeiului se efectuează în instalații cu una, cu două, sau cu trei coloane, dispuse în serie. Principiul de funcționare al instalației de distilare a țițeiului (Fig. F.59) este următorul: țițeiul se preîncălzește prin schimb de căldură cu produsele calde care părăsesc coloana de fracționare. Astfel, țițeiul rece este refulat cu pompa de alimentare și trece succesiv prin schimbătoarele de căldură ale refluxului de benzină, ale refluxului intermediar, ale petrolului, motorinei și ale reziduului. Țițeiul preîncălzit astfel, la 160—180°, trece printr-un cuptor tubular, în care se încălzește la circa 300°. La această temperatură, țițeiul, parțial evaporat (circa 50%, în cazul țițeiului din R.S.R.), trece în coloana de fracționare, care lucrează la presiunea atmosferică, unde se produce separarea țițeiului în componenții uzuali: benzina peste capul coloanei, petrolul și motorina, ca fracțiuni laterale, iar reziduul, ca fracțiune de fund.

Coloana este echipată cu talere de fracționare, al căror număr e determinat de gradul de separare urmărit și de numărul de fracțiuni care se obțin. În general, sînt necesare 4—6 talere pentru fracțiunile laterale și 8—10 pentru fracțiunea de vîrf. Pentru a corecta caracteristicile de distilare ale produșilor laterali (și de fund), aceștia sînt „stripați" cu abur în coloane separate (nu sînt reprezentate în figură). Reglarea operației se face, la o alimentare de compoziție constantă, prin temperatura țițeiului la ieșirea din cuptor și prin cantitatea și temperatura celor două circuite de reflux. O altă variabilă de lucru este cantitatea de produs lateral extras din coloană. Astfel, de exemplu, mărirea canti-

Scanned with OKEN Scanner

tăţii de petrol extras din coloană extinde domeniul de distilare al acestuia, prin înglobarea componenţilor uşori din motorină, şi, în acelaşi timp, comprimă domeniul de distilare al motorinei care pierde componenţii uşori (în acelaşi timp, motorina cîştigă o cantitate de componenţi uşori ai reziduului). Pentru distilarea ţiţeiului, în industria prelucrătoare, se folosesc instalaţii de distilare continuă la presiunea atmosferică, în vid, cu baterii de căldări, cu cuptoare tubulare. Într-o instalaţie de distilare continuă, se produc mai multe distilări, iar în fiecare căldare distilează un amestec a cărui compoziţie este mereu aceeaşi, temperatura rămînînd constantă. Dintre tipurile de instalaţii de distilare continuă enumerate, în instalaţiile de distilare continuă cu cuptoare tubulare, este posibilă utilizarea cea mai bună a căldurii; aceste instalaţii funcţionează după principiul condensărilor succesive ale componenţilor cu diferite greutăţi moleculare, vaporizaţi prin încălzirea în cuptor şi prin destinderea ulterioară într-un spaţiu de vaporizare. Separarea lor în starea de vapori se face prin condensarea succesivă a componenţilor în coloanele de fracţionare. Prelucrarea ţiţeiului într-o instalaţie de distilare cu cuptor tubular constă în încălzirea pînă la vaporizarea parţială, vaporizarea prin destindere şi separarea amestecului de reziduu, fracţionarea într-o coloană a amestecului de vapori, condensarea vaporilor care ies prin capul coloanei, răcirea condensatului şi a fracţiunilor lichide care ies din coloană lateral, precum şi a reziduului din fundul coloanei. Utilajul unei instalaţii cu cuptor tubular se compune, în afară de cuptorul tubular, din coloane de fracţionare, schimbătoare de căldură, pompe, separatoare, recipiente şi instrumente de control.

FRACŢIUNE DE COMBUSTIBIL. Component al unui combustibil lichid, obţinut prin distilarea fracţionată a ţiţeiului într-un anumit interval de temperatură.

Ansamblul fracţiunilor reprezintă compoziţia fracţionată a combustibilului.

Între **f. de c.** şi calităţile de aprindere şi ardere ale combustibililor în maşinile termice există influenţe directe. Astfel, conţinutul de fracţiuni uşoare, cu volatilitate ridicată care asigură pornirea uşoară, la rece a motoarelor cu ardere internă, este indicat de temperatura la care distilează 10% din combustibil (t 10%). Fracţiunile medii (t 50%) influenţează comportarea motorului la sarcini medii şi variabile. Fracţiunile grele (t 90%) determină funcţionarea motorului mai ales la apropierea regimului nominal.

FREON. Derivat dublu halogenat al unor hidrocarburi inferioare (etan, metan, ciclobutan), utilizat pe scară largă în tehnica frigului ca agent frigorific.

F. se obţin prin înlocuirea parţială sau completă a atomilor de hidrogen prin atomi de fluor, clor sau brom, avînd formula generală $C_mH_xF_yCl_zBr_u$.

F. se notează prescurtat F-*n* sau R-*n*, *n* fiind numărul specific freonului respectiv.

Numărul *n* este format din două sau trei cifre şi se stabileşte conform următoarelor reguli:

— În cazul derivaţilor fără atomi de hidrogen ($x=0$), prima cifră sau primele două cifre, dacă *n* este format din două sau trei cifre, definesc hidrocarbura din care provin (1 — pentru metan, CH_4; 11 — pentru etan, C_2H_5; 21 — pentru propan, C_3H_8; 31 — pentru butan, C_4H_{10}), iar în continuare se scrie numărul atomilor de clor (*y*) (ex.: freonul triclorfluormetan — CCl_3F : R 11 şi freonul difluortetracloretan — $C_2Cl_4F_2$: R 112).

— În cazul derivaţilor cu atomi de hidrogen ($x=1,2\ldots$) se adaugă şi numărul acestora în felul următor: pentru derivaţii metanului la prima cifră, iar la ceilalţi derivaţi, la cifra a doua (ex.: $CHClF_2$ clordifluormetan R-22 şi freonul $C_2H_3ClF_2$ — clordifluoretan R-142).

— La derivaţii în care apar şi atomi de brom ($u=1,2\ldots$), la notaţia principală se adaugă litera B după care se scrie valoarea lui *u*; de exemplu, freonul CF_2Br_2 : R-12B2.

Avantajele utilizării **f.** ca agenţi frigorifici sînt următoarele: au exponenţi adiabatici mici ($k_{freon}=1,12;\ldots;1,2$) şi în consecinţă necesită temperaturi de comprimare reduse; nu sînt toxici; sînt neutri din punct de vedere chimic; au inflamabilitate redusă; sînt neexplozivi. Este de remarcat faptul că, pe măsură ce numărul atomilor de hidrogen scade, se reduce inflamabilitatea şi pericolul de explozie, iar odată cu creşterea numărului atomilor de fluor scade toxicitatea şi acţiunea corosivă.

Scanned with OKEN Scanner

F. au următoarele dezavantaje: viscozitate redusă, fapt care favorizează scăpările; densitate ridicată, ceea ce conduce la creşterea pierderilor de presiune la circulaţia prin conducte; coeficienţii de schimb de căldură sînt mai mici decît ai altor agenţi frigorifici; sînt solubili în ulei, solubilitatea crescînd cu ridicarea presiunii şi scăderea temperaturii; atacă garniturile de cauciuc.

Principalii **f.** sînt prezentaţi în tabelul F.11. Dintre aceştia, **f.** cei mai des utilizaţi sînt următorii:

Tabelul F.11

Principalele tipuri de freoni

Denumirea chimică	Formula chimică	Notaţia prescurtată
Triclorfluormetan	CCl_3F	R-11
Diclordifluormetan	CCl_2F_2	R-12
Clortrifluormetan	$CClF_3$	R-13
Tetrafluormetan	CF_4	R-14
Diclorfluormetan	$CHCl_2F$	R-21
Clordifluormetan	$CHClF_2$	R-22
Trifluormetan	CHF_3	R-23
Difluortetracloretan	$CCl_2F—CCl_2F$	R-112
Trifluortricloretan	$CClF_2—CClF$	R-113
Diclortetrafluoretan	$CClF_2—CClF_2$	R-114
Clorpentafluoretan	$CF_3—CClF_2$	R-115
Difluortricloretan	$CClF_2—CHCl_2$	R-122
Trifluordicloretan	$CF_3—CHCl_2$	R-123
Tetrafluorcloretan	$CF_3—CHClF$	R-124
Clordifluoretan	$CClF_2—CH_3$	R-142
Trifluoretan	$CF_3—CH_3$	R-143
Difluoretan	$CHF_2—CH_3$	R-152

F. R-11 ($CFCl_3$), în instalaţiile frigorifice pentru condiţionarea aerului, răcirea apei, precum şi în instalaţiile de pompe termice; este caracterizat printr-o putere frigorifică volumică redusă (176 kJ/m³ la —15°C) şi presiuni de condensare şi vaporizare reduse;

F. R-12 ($CHFCl_2$), pentru obţinerea unor temperaturi moderate (aproximativ 0 °C) în instalaţiile de condiţionare a aerului şi de răcire a apei;

F. R-114 ($CF_2Cl—CF_2Cl$), în instalaţiile de condiţionare a aerului;

F. R-112 (CF_2Cl_2), în instalaţiile frigorifice într-o treaptă;

F. R-22 (CHF_2Cl), în instalaţiile frigorifice cu o treaptă, cu două trepte, existînd tendinţa de înlocuire a R-12 cu R-22 la instalaţiile frigorifice mari;

F. R-142 ($C_2H_3F_2Cl$), în instalaţiile de pompe termice, precum şi în cele de condiţionare a aerului, avînd o temperatură ridicată de condensare (60—70°C) la o presiune relativ coborîtă;

F. R-143 ($CH_3—CF_3$), (formează cu aerul amestecuri inflamabile), în instalaţiile frigorifice cu o treaptă;

F. R-13 (CF_3Cl), în instalaţiile frigorifice în cascadă (pentru ramura inferioară), întrucît permite obţinerea unor temperaturi de —100°C;

F. R-14 (CF_4), în instalaţiile frigorifice în cascadă, realizîndu-se temperaturi cuprinse între —100°C şi —140°C.

F. R-13 B1 (CF_3Br), care permite obţinerea unor temperaturi de —120°C.

În ultimul timp există tendinţa de a se utiliza amestecuri azeotrope compuse din doi componenţi, amestecuri ce au proprietăţi foarte diferite de cele ale componenţilor primari. Amestecul azeotrop se caracterizează prin aceea că presiunile de vaporizare şi condensare sînt superioare celor care caracterizează fiecare component.

Dintre cele mai utilizate amestecuri azeotrope, se pot menţiona:

F. R-500, amestec azeotrop format din 26,2% R-152 şi 73,8% R-12, utilizat în instalaţiile frigorifice cu compresoare cu piston şi care are o putere frigorifică specifică cu 20% mai mare decît cea a lui R-12.

F. R-502, amestec azeotrop compus din 51,2% R-115 şi 48,8% R-22 ce poate fi utilizat pentru obţinerea temperaturilor medii şi joase.

Scanned with OKEN Scanner

FRIG. Căldură preluată de la un sistem fizico-chimic, la o temperatură joasă (care este în general inferioară temperaturii mediului ambiant). Unitatea de măsură a **f.** este Joule (J).

FRIGIDER (Sin.: **Dulap frigorific**). Dulap echipat cu o sursă de frig şi prevăzut cu pereţi termoizolanţi, în care se menţine o temperatură scăzută, inferioară temperaturii mediului ambiant, în scopul păstrării produselor sau substanţelor alterabile (în special produsele alimentare).

Sursa de frig este un agregat frigorific al cărui vaporizator este amplasat în spaţiul ce trebuie răcit, restul elementelor agregatului fiind în afara spaţiului răcit. **F.** au pereţi dubli între care se montează materiale izolante (plută, vată de sticlă, saltele cu rumeguş etc.). Pereţii interiori sînt confecţionaţi din tablă emailată, metalică, zincată sau din materiale plastice, iar pereţii exteriori, din tablă sau din lemn. Uşile de acces sînt prevăzute cu garnituri pentru închidere etanşă. Majoritatea agregatelor frigorifice sînt cu comprimare mecanică de vapori. Sînt utilizate şi agregate cu absorbţie şi, mai rar, cele cu adsorbţie. Pentru puteri frigorifice mici se construiesc **f.** bazate pe efectul termoelectric Péltier.

Cînd sursa de frig o constituie gheaţa, dulapul frigorific se numeşte răcitor. Acesta trebuie alimentat zilnic cu gheaţă, consumul fiind cu aproximativ 1 kg gheaţă pentru fiecare 10 l capacitate a incintei răcite, la o temperatură exterioară de +25°C şi o temperatură în interiorul incintei răcite de +8—+6°C.

Pentru **f.** volumul util al incintei răcite, capacitatea **f.**, este cuprins între 50 l (la **f.** casnice) şi sute de litri (la dulapurile frigorifice comerciale), iar temperatura în interior este în mod curent —2... +6°C, fără a coborî sub —15°C la o temperatură exterioară de +25°C. **F.** sînt automatizate astfel, încît temperatura incintei răcite să fie menţinută între limitele dorite, cu un consum minim de energie.

După *domeniul de utilizare*, **f.** pot fi clasificate în:

— **f. casnice,** folosite pentru păstrarea alimentelor alterabile; au o putere frigorifică de ordinul zecilor şi sutelor de kJ/h (rareori depăşesc 500 kJ/h). În figura F.60

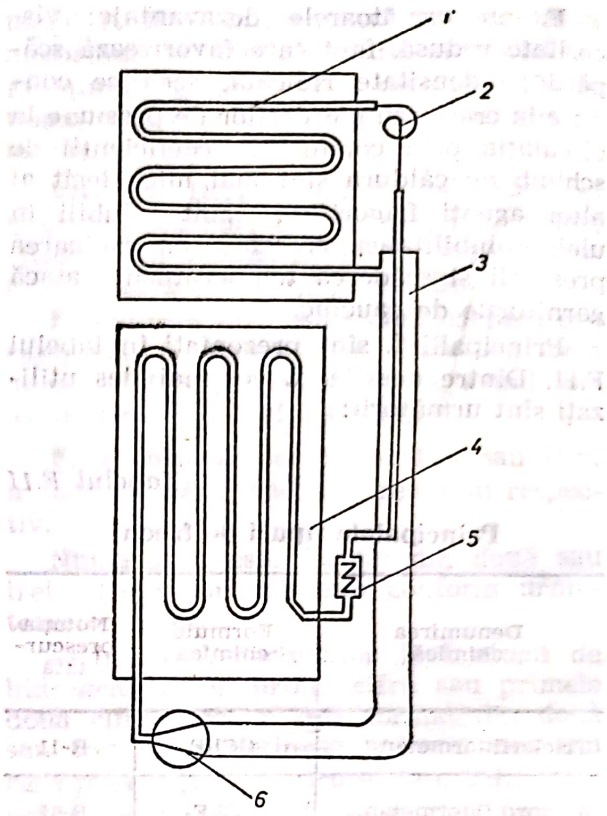


Fig. F.60. Frigider casnic: *1* — vaporizator; *2* — tub capilar de laminare; *3* — subrăcitor regenerativ; *4* — condensator; *5* — filtru; *6* — motocompresor.

este reprezentată schema unui **f.** casnic dotat cu un compresor cu comprimare mecanică de vapori;

— **f. comerciale,** folosite în magazinele alimentare pentru păstrarea alimentelor alterabile; acestea au putere frigorifică între cîteva sute şi cîteva mii kJ/h, temperatura în incintă nefiind mai joasă de —15 °C;

— **depozite frigorifice,** folosite pentru depozitarea pe perioade diferite a produselor alterabile, la care suprafeţele de răcire sînt dispuse fie sub tavan, fie pe pereţi.

Pentru dimensionarea surselor de frig se consideră în medie un necesar zilnic de 6 000—9 000 kJ/m³ cameră, astfel încît capacitatea frigorifică a agregatelor frigorifice utilizate pentru camere mici să fie de 5 000—15 000 kJ/h.

FRIGORIE. Unitate de măsură echivalentă cu caloria (cu semn negativ), utilizată de regulă în tehnica frigului pentru evaluarea cantităţii de căldură schimbată

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul F.12

Parametrii termofizici ai agenților frigorifici

Agentul frigorific	Formula chimică	Masa moleculară	t_s [°C]	t_{cr} [°C]	p_{cr} [MPa]	v_{cr} [l/kg]	t_f [°C]	k	$\frac{T_{cr}}{T_s}$	$\frac{RT_{cr}}{p_{cr}v_{cr}}$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Agenți neorganici										
Amoniac	NH_3	17,03	—33,35	132,4	11,52	4,130	—77,7	1,30	1,652	4,26
Bioxid de carbon	CO_2	44,01	—78,52	31,0	7,52	2,156	—56,6	1,30	—	3,63
Bioxid de sulf	SO_2	64,06	—10,10	157,2	8,028	1,920	—75,2	1,26	1,636	3,71
Protoxid de azot	N_2O	44,02	—88,46	36,5	7,41	2,188	—90,8	—	1,677	3,68
Hexaflorură de sulf	SF_6	146,0	—63,8	45,56	3,815	1,35	—50,8	1,06	—	3,56
Freoni										
R-10	CCl_4	153,8	76,7	283,14	4,647	1,792	—22,9	1,18	1,59	3,68
R-11	$CFCl_3$	137,39	23,7	197,78	4,46	1,805	—111,0	1,13	1,587	3,62
R-12	CF_2Cl_2	120,92	—29,8	112,04	4,196	1,793	—155	1,14	1,579	3,59
R-13	CF_3Cl	104,47	—81,5	28,78	3,944	1,721	—180	—	1,575	3,59
R-13B1	CF_3Br	148,9	—58,7	67,5	4,13	—	—143,2	1,12	1,588	—
R-14	CF_4	88,01	—128,0	—45,5	3,82	1,58	—184,0	1,22	1,566	3,63
R-21	$CHFCl_2$	102,92	0,9	178,5	5,268	1,915	—135,0	1,16	1,601	3,69
R-22	CHF_2Cl	86,48	—40,8	96,0	5,033	1,905	—160,0	—	—	—
R-23	CHF_3	70,01	—82,2	—	—	—	—160,0	—	—	—
R-30	CH_2Cl_2	84,94	39,2	235,4	6,09	—	96,7	1,18	1,622	3,62
R-40	CH_3Cl	50,49	—23,7	143,1	6,809	2,70	—97,6	1,20	1,669	3,63
R-113	$C_2F_3Cl_3$	187,39	47,7	214,1	3,482	1,735	—36,6	1,09	1,520	3,65
R-114	$C_2F_4Cl_2$	170,91	3,5	145,8	3,34	1,715	—94,0	1,11	1,517	3,68
R-115	C_2F_5Cl	154,48	—38,0	80,0	3,30	1,680	—106,0	1,09	1,502	3,50
R-142	$C_2H_3F_2Cl$	100,48	—9,2	136,4	4,20	2,30	—130,8	1,13	1,533	3,53
R-143	$C_2H_3F_3$	84,04	—47,6	73,1	3,85	2,305	—111,3	—	1,535	3,90
R-152	$C_2H_4F_2$	66,05	—25,0	113,5	4,58	2,74	—	—	1,558	3,96
R-160	C_2H_5Cl	64,52	12,0	187,2	5,35	3,03	—138,7	1,16	1,613	3,73
R-502 (amestec azeotrop R-22; R-115)	—	—	—45,6	90,0	0,435	1,788	—	—	—	—

Tabelul F.12 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hidrocarburi saturate										
Etan, R-170	C_2H_4	30,06	—88,6	32,1	5,03	4,7	—183,2	1,25	1,645	3,53
Propan, R-290	C_3H_8	44,1	—42,1	96,8	4,34	4,46	—187,1	1,13	1,602	3,66
n-Butan	C_4H_{10}	58,1	—0,5	153,0	3,60	4,29	—135	—	—	4,03
Izobutan	$(CH_3)_3CH$	58,1	—11,7	133,7	3,77	—	—159,6	—	1,556	—
Pentan	C_5H_{12}	72,1	36,0	197,0	3,36	4,29	—131,5	1,09	—	3,84
Hidrocarburi nesaturate										
Etilena	C_2H_6	28,05	—103,7	9,5	5,16	4,62	—169,5	—	1,668	3,58
Propilena	C_3H_6	42,08	—47,7	91,4	4,69	4,28	—185,0	—	1,617	3,71
Dicloretan	$C_2H_2Cl_2$	96,9	50,0	243,0	5,60	—	—56,6	1,14	1,597	—
Difluoretilen	$C_2H_2F_2$	64,04	—85,7	30,1	4,51	2,40	—	—	1,618	3,71
Difluormonocloretilen	C_2HClF_2	98,49	—18,6	127,4	4,55	2,00	—	—	1,573	3,78
Vinilin de brom	C_2H_3Br	106,9	15,6	—	—	—	—140,0	1,20	—	—
Amine										
Metilamină	$CH_3—NH_2$	31,06	—6,7	156,9	7,60	—	—92,5	1,18	1,614	—
Etilamină	$C_2H_5—NH_2$	45,08	7,0	164,6	5,58	—	—93,0	1,15	1,566	—
Acizi organici										
	C_2H_6O	46,07	—24,8	126,9	5,50	3,685	—138,0	—	1,611	3,63
	$C_4H_{10}O$	74,12	34,5	194,0	3,72	3,77	—116,3	1,08	1,518	3,81
	$HCOOCH_3$	60,03	31,2	214,0	6,12	2,865	—100,4	1,12	1,601	3,92

de un sistem termodinamic, aflat la o temperatură mai joasă decît mediul ambiant.

FRIGORIFIC (Agent). Agent termic omogen sau amestec de substanţe, care produce sau transferă căldură pentru a putea răci un mediu la o temperatură mai coborîtă decît cea a mediului ambiant.

A. f. evoluează în instalaţii frigorifice.

În mod obişnuit, se utilizează următoarele tipuri de **a. f.**:

a) A. f. cu temperatură coborîtă de vaporizare la presiune atmosferică normală, folosiţi în instalaţii cu comprimare mecanică de vapori:

— **a. f.** cu temperatură ridicată de vaporizare (0 ... 80°C), folosiţi la pompele termice;

— **a. f.** cu temperatură medie de vaporizare (—50 ... 0°C);

— **a. f.** cu temperatură joasă de vaporizare (—130 ... —50°C);

b) Aerul sau alte amestecuri de gaze perfecte avînd temperaturi de vaporizare joase; aceşti **a. f.** sînt folosiţi în instalaţiile frigorifice cu comprimare de gaze, în instalaţiile cu efect turbionar şi în instalaţiile de lichefiere şi separare a gazelor;

c) Soluţii ale diferitelor substanţe, utilizate în instalaţiile frigorifice cu absorbţie;

d) Apa, folosită în instalaţiile cu jet de abur.

Pentru ca o substanţă să poată fi folosită ca **a. f.** într-o *instalaţie frigorifică cu comprimare de vapori* trebuie să îndeplinească următoarele condiţii:

— temperatura punctului critic să fie cît mai ridicată şi temperatura de congelare cît mai scăzută, pentru a putea fi folosită într-un domeniu cît mai larg de

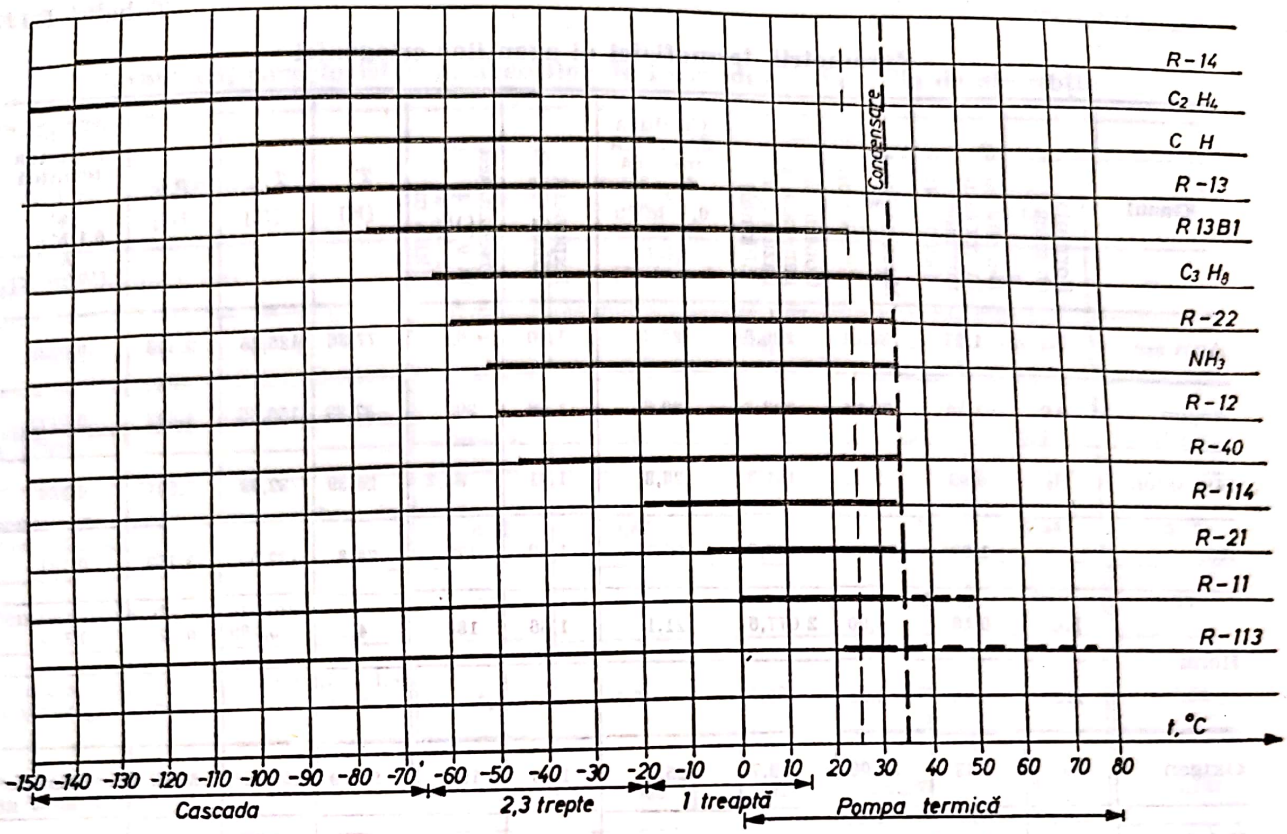


Fig. F.61. Zonele de folosire a agenților frigorifici uzuali.

temperaturi în cursul proceselor de transformare de fază;

— presiunea de vaporizare să fie superioară presiunii atmosferice, în scopul evitării infiltrării aerului în vaporizator, deoarece odată cu aerul pătrunde și umiditatea, care contribuie la intensificarea procesului de coroziune și la formarea acelor de gheață ce înfundă ventilele de reglaj;

— presiunea la care are loc condensarea vaporilor să fie cît mai mică pentru reducerea consumului de energie, micșorarea greutății compresorului și a condensatorului, creșterea randamentului mecanic al compresorului și evitarea pierderilor de agent;

— căldura latentă de vaporizare să fie cît mai ridicată pentru micșorarea debitului de **a. f.** necesar.

— putere frigorifică specifică volumică să fie cît mai mare, ceea ce reprezintă căldura de vaporizare pe metru cub;

— căldura specifică a lichidului să fie cît mai redusă, în vederea micșorării pierderilor provocate de ireversibilitatea procesului de laminare;

— volumul specific al vaporilor să fie cît mai mic, pentru a se obține dimensiuni cît mai reduse ale instalației în cazul compresoarelor cu piston și cît mai mare, în cazul turbocompresoarelor frigorifice, pentru mărirea randamentului intern al procesului de comprimare;

— viscozitatea trebuie să fie moderată, pentru îmbunătățirea transferului de căldură și reducerea pierderilor de presiune, dar nu prea mică pentru a nu favoriza scăpările de **a. f.**;

— să nu fie toxică;

— să prezinte stabilitate chimică în domeniul de presiuni și temperaturi în care este folosită;

— să nu dizolve sau să reacționeze cu lubrifianți utilizați;

— să nu fie inflamabilă sau explozivă;

— să aibă preț redus.

Caracteristicile termofizice ale principalilor **a. f.** utilizați în instalațiile cu comprimare de vapori sînt prezentate în tabelul F.12, iar domeniile de utilizare în figura F.61.

Agenții utilizați în instalațiile frigorifice cu comprimare de gaze trebuie să se caracterizeze prin:

— temperatură de vaporizare la presiune normală cît mai coborîtă pentru a nu se solidifica sau lichefia în instalație;

— căldura specifică și conductivitatea termică să fie cît mai puțin dependente de presiune și temperatură.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul F.13

Parametrii termofizici ai agenților criogenici

Gazul	Formula chimică	Densitatea ρ_0 în condiții normale [kg/m³ N]	Masa moleculară, M [kg/kmol]	Constanta generală a gazului, R [J/kmol]	Căldura specifică molară C_p la 0,1 MPa și 20 °C [kJ/kmol·K]	Exponentul adiabatic, k	Viscozitatea la 0 °C și 0,1 MPa [kPa·m]	T_s [K]	T_{cr} [K]	p_{cr} [K]	Conductivitatea termică la 0 °C și 0,1 MPa, λ [W/m·K]
Azot	N_2	1,25	28,01	296,5	29,3	1,40	167	77,36	126,25	3,396	0,0239
Argon	Ar	1,78	39,94	208,3	20,8	1,68	209	87,29	150,86	4,898	0,0173
Hidrogen	H_2	0,09	2,02	4 121,3	28,8	1,41	84,2	20,39	32,98	1,291	0,166
Aer	—	1,29	28,96	286,8	29,1	1,40	173	78,8	132,55	3,769	0,141
Heliu	He^4	0,18	4,00	2 077,6	21,1	1,66	188	4,21	5,199	0,229	0,144
	He^3	0,13	3,02	—	—	—	—	3,19	—	—	—
Oxigen	O_2	1,43	32,00	259,7	25,5	1,40	191	90,19	154,77	5,037	0,024
Kripton	Kr	3,74	83,80	100,3	21,0	1,67	232	119,75	209,4	5,51	0,0084
Xenon	Xe	5,85	131,30	63,8	20,9	1,70	210	165	289,75	5,88	0,0053
Metan	CH_4	0,72	16,04	522,9	35,7	1,31	103	111,67	190,7	4,65	0,030
Neon	Ne	0,90	20,18	411,4	20,9	1,68	297	27,07	44,4	2,66	0,0445

Parametrii termofizici ai fluidelor criogenice sînt prezentați în tabelul F.13.

Pentru *instalațiile cu absorbție*, agenții termici trebuie să respecte condiții suplimentare impuse de realizarea succesivă a reacțiilor de absorbție și, respectiv, desorbție:

— diferență mică de presiune între condensator și vaporizator pentru a reduce consumul de energie pentru pomparea soluției;

— căldură de vaporizare cît mai mare pentru reducerea debitului de agent și a dimensiunilor schimbătoarelor de căldură;

— căldură de dizolvare cît mai mică a agentului de lucru de către absorbant la instalațiile frigorifice și cît mai mare la instalațiile de pompe de căldură, reducîndu-se prin aceasta suprafețele de schimb de căldură;

— căldură specifică mică a absorbantului pentru reducerea suprafeței de încălzire;

— diferență cît mai mare între temperaturile normale de vaporizare ale agentului de lucru și absorbantului pentru a permite reducerea gradului de antrenare a absorbantului de către vaporii agentului de lucru;

— viteză mare de absorbție pentru reducerea dimensiunilor absorbitorului.

Cele mai utilizate soluții în instalațiile frigorifice cu absorbție sînt:

— soluția hidroamoniacală, în care **a. f.** este amoniacul (NH_3), iar absorbantul este apa; este utilizată pentru realizarea temperaturilor cuprinse între 0 și —60°C în instalațiile frigorifice și, de asemenea, în pompele termice;

— soluția de bromură de litiu, în care **a. f.** este apa, iar absorbantul este bromura de litiu (LiBr); este folosită în instalațiile de condiționare a aerului și în instalațiile de răcire a apei, realizîndu-se temperaturi cuprinse între 0 și +10°C.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul F.14

Parametrii caracteristici ai agenților de lucru din instalațiile de absorbție

Parametrul	Agentul de lucru					
	Amoniac	Metil-amin	Apa	R-21	Diclor-metan	Metanol
Masa moleculară (M)	17	31	18	103	85	32
Temperatura critică, °C (T_{cr})	132,4	156,9	374,1	178,5	239	240
Temperatura normală de fierbere, t, °C	—33,4	—6,7	100	8,9	40,6	64,7
Densitatea agentului lichid la t=0, °C, kg/l (ρ_0)	0,61	0,66	1	1,36	1,34	0,79
Temperatura de solidificare, °C	—77,7	—92,5	0	—135	—96,7	—98
Căldura specifică a agentului lichid (c_p) la 0 °C, kJ/kg·K	4,77	3,31	4,19	1,09	1,13	2,52
Presiunea de saturație, în MPa la t=20 °C	0,860	0,306	0,0024	0,157	0,046	0,127
la t=0 °C	0,428	0,137	0,0006	0,078	0,018	0,063
la t=—10 °C	0,290	0,087	0,0003	0,049	0,011	0,002
Căldura de vaporizare, (r) kJ/kg la t=0 °C	1 260	827	2 500	240	354	1 200
la t=—10 °C	1 300	843	2 520	244	360	1 210

Principalii parametrii ai agenților de lucru din instalațiile frigorifice cu absorbție sînt dați în tabelul F.14.

Agenții purtători de frig sînt soluțiile care transferă frig de la sursa de frig la consumator.

Agenții purtători de frig trebuie să satisfacă următoarele condiții:

— temperatura de solidificare trebuie să fie cu cîteva grade sub temperatura de vaporizare a a. f.;

— căldura specifică trebuie să fie mare pentru reducerea debitului de agent purtător de frig;

— vîscozitatea trebuie să fie redusă pentru micșorarea pierderilor de presiune în instalație;

— să aibă stabilitate chimică;

— să aibă corosivitate redusă;

— să aibă toxicitate redusă, să fie neinflamabili pentru a preveni pericolul de explozie;

— să aibă preț scăzut.

Cei mai utilizați agenți purtători de frig la nivelul frigului moderat sînt saramurile (soluții de clorură de calciu, $CaCl_2$, în apă) și gazele perfecte (în special aer umed). Se mai pot utiliza și lichidele antigel de tipul soluției de etilenglicol pentru temperaturi de —75° C, precum și freoni (R-30 pe intervalul de temperatură —40 ... —90°C și R-11 pentru temperaturi de —150°C).

FRIGORIFIC (Lanț). Șir de instalații frigorifice fixe sau mobile, care realizează conservarea la rece a produselor alimentare și transportul lor la consumator.

Scanned with OKEN Scanner

Un **l. f.** poate fi format din: depozite frigorifice la locul de producție; mijloace de transport frigorific (autovehicule, vagoane, nave frigorifice); antrepozite frigorifice în centrele de consum (gări, porturi etc.). Antrepozitele frigorifice sînt prevăzute cu încăperi cu temperaturi diferite: săli de primire; de sortare; săli sau rampe de încărcare-descărcare; galerii sau camere de prerăcire ori de congelare.

FRIGORIFICĂ (Navă). Navă special amenajată cu camere frigorifice și cu instalații frigorifice, utilizată pentru congelarea, păstrarea și transportul alimentelor sau al produselor perisabile. Puterea frigorifică este de ordinul zecilor sau sutelor de mii kJ/h.

N. f. sînt echipate cu instalații cu comprimare mecanică de vapori, utilizîndu-se agenții frigorifici care nu sînt toxici.

Răcirea se face fie prin ciclu direct, fie prin intermediul unui circuit intermediar cu agent purtător de frig.

FRIGORIFIC (Vagon). Vagon prevăzut cu instalație frigorifică, cu pereții izolați termic, folosit la transportul alimentelor. Instalația frigorifică este de tipul cu comprimare mecanică de vapori. Răcirea se poate face fie direct, fie printr-un circuit cu agent purtător de frig.

FRIGORIFIC (Vehicul). Autovehicul dotat cu cameră frigorifică și instalație frigorifică, utilizat pentru transportul alimentelor și al produselor perisabile. Instalațiile frigorifice sînt de tipul cu comprimare mecanică de vapori, cu transfer direct al căldurii. Capacitatea frigorifică este de cîteva mii de kJ/h, la o temperatură minimă de —15°C.

FRIGORIFICĂ (Cameră). Încăpere echipată cu o instalație frigorifică cu pereții izolați termic, în care se menține o temperatură inferioară temperaturii mediului ambiant și în care se păstrează pe scurtă durată produsele ușor alterabile.

Sursele de frig utilizate sînt vaporizatorul unui agregat frigorific sau țevi prin care circulă un agent purtător de frig.

Suprafețele de răcire se fixează în cazul camerelor cu volum mic sub tavan. Acest lucru favorizează circulația naturală a aerului. În cazul acestei dispoziții a suprafeței de răcire, este necesar să se prevadă dispozitive pentru colectarea condensatului care se depune pe suprafața de răcire. **C. f.** cu volum mare sînt prevăzute cu suprafețe de răcire care se montează pe pereți. În acest caz, circulația aerului este o circulație forțată, realizată cu ajutorul ventilatoarelor și, eventual, în timpul iernii, prin canale deschise în exterior.

Pentru izolarea termică a pereților se pot utiliza plăci de poliuretan, plută, polistiren, materiale minerale (piatră ponce, zgură granulată). Se execută, de asemenea, și izolarea hidrofugă a clădirii.

Majoritatea instalațiilor frigorifice utilizate la aceste camere sînt cu comprimare de vapori de amoniac sau freoni. La dimensionarea surselor de frig se consideră, în general, un necesar de 6 000—8 000 kJ/m^2 de cameră.

La răcirea cu agent purtător de frig, temperatura în serpentină se consideră —10°C, iar la răcirea directă, temperatura din vaporizator, —15°C.

FRIGOTEHNICĂ (Sin.: **Tehnica frigului**). Domeniu al tehnicii, avînd ca obiect procedeele și instalațiile de producere a frigului artificial, precum și metodele de utilizare ale acestuia. Frigul se produce în instalații (agregate) frigorifice pe baza diferitelor procedee, cele mai uzuale fiind: reducerea temperaturii unui gaz prin destindere, cu producere de lucru mecanic, sau prin laminare, vaporizarea unui lichid la o presiune căreia îi corespunde o temperatură de saturație joasă, preluarea de căldură la temperaturi joase de către amestecuri frigorigene, utilizarea efectului turbionar Ranque-Hilsch, utilizarea efectului Péltier [V. Ranque (Efect); Peltier (Efect); Instalație frigorifică].

FRÎNĂ DE ÎNCERCARE. Instalație utilizată pentru măsurarea momentului motor al unui motor termic, prin crearea unui moment rezistent corespunzător. Cu ajutorul momentului motor M_e determinat și al turației respective n, se poate calcula puterea dezvoltată de motorul termic în diferite regimuri de funcționare:

$$P_e = \frac{M_e n}{716{,}2}\ [\text{CP}]; \quad P_e = \frac{M_e n}{971}\ [\text{kW}].$$

Momentul rezistent poate fi creat prin frecare sau pe cale electrică. După natura mediilor în frecare, **f. de î.** din prima categorie pot fi: mecanice (frecarea se produce între două corpuri solide), cu aer (frecarea se produce între un corp solid și aer) și hidraulice (frecarea se produce între un corp solid și apă). Dacă energia dezvoltată de motorul termic este consumată printr-un fenomen electric sau electromagnetic, **f.** se numește electrică.

În prezent, pentru încercarea motoarelor termice și în special a motoarelor cu

Scanned with OKEN Scanner

ardere internă, se utilizează în exclusivitate **f. de î. hidraulice** şi **f. de î. electrice**, datorită avantajelor pe care le au în raport cu **f. de î.** mecanice şi cele cu aer.

F. de î. hidraulică are ca principiu de funcţionare absorbţia energiei mecanice dezvoltată de motorul termic supus încercării prin frecările create de mişcarea unui rotor într-o cavitate umplută cu apă: frecare rotor-apă, apă-stator şi frecare interioară a apei.

Schema de principiu a **f. de î.** hidraulice este prezentată în figura F.62. Roto-

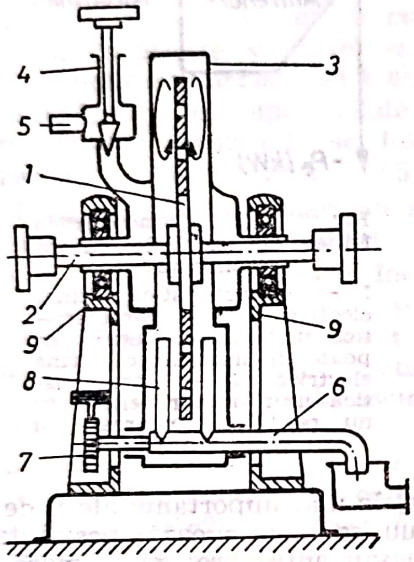


Fig. F.62. Schema de principiu a frînei hidraulice:
1 — rotor; *2* — arbore; *3* — carcasă; *4* — robinet; *5* şi *6* — conducte; *7* — roată melcată; *8* — ştuţuri rabatabile; *9* — lagăre.

rul *1*, în formă de disc, este plasat pe arborele *2*, care se roteşte liber în lagărele cu rulmenţi *9*. Carcasa *3* se sprijină liber în lagărele cu rulmenţi *9* şi, prin intermediul acestora, pe arborele *2* care este antrenat în mişcare de rotaţie de motorul termic supus încercării. Apa intră în frînă prin conducta *5* şi robinetul *4* şi este evacuată prin conducta *6*. În timpul funcţionării, apa pătrunsă în frînă este preluată de rotor şi proiectată pe suprafaţa interioară a carcasei, formînd un inel de apă în care iau naştere mişcări turbulente intense. Cu cît apa preluată de rotor va veni în contact cu o suprafaţă mai mare a acestuia, cu atît frecarea şi, deci, mişcările turbulente vor fi mai intense, iar frîna va absorbi o energie mai mare. Reglarea cantităţii de apă admisă în carcasa **f.** (reglarea puterii frînate) se realizează cu ajutorul robinetului *4*. Reglarea cantităţii de apă din interiorul carcasei se realizează cu ştuţurile rabatabile *8*, care controlează cantitatea de apă evacuată din frînă. Poziţia ştuţurilor poate fi modificată cu ajutorul roţii melcate 7. Prin înclinarea diferită a ştuţurilor, se modifică raza sub care se efectuează evacuarea apei şi, deci, se reglează grosimea inelului de apă din stator. Cînd ştuţurile ocupă poziţia radială, reglajul este maxim, iar cînd acestea ocupă poziţia extremă, reglajul este minim. Mişcarea apei în interiorul **f.** tinde să rotească carcasa, ceea ce impune echilibrarea acesteia. Cel mai simplu sistem de echilibrare constă în plasarea pe carcasă a unui braţ de lungime L (Fig. F.63), la capătul căruia se ataşează

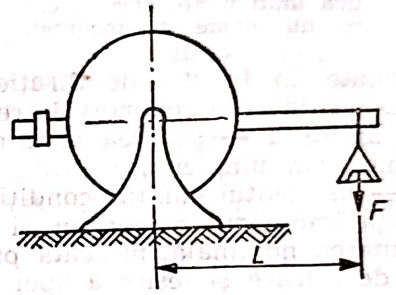


Fig. F.63. Echilibrarea carcasei frînei hidraulice.

greutăţi sau un dinamometru. Dacă F este valoarea greutăţilor sau indicaţia dinamometrului, iar n este turaţia arborelui **f.**, atunci puterea frînată se determină cu relaţia:

$$P_f = \frac{F \cdot L \cdot n}{716{,}2}\ [\text{CP}]; \qquad P_f = \frac{F \cdot L \cdot n}{974}\ [\text{kW}].$$

Pentru frînele construite cu $L=0{,}7162$ m sau $L=0{,}974$ m, puterea frînată este:

$$P_f = \frac{F \cdot n}{1\,000}\ [\text{CP}] \text{ şi respectiv } [\text{kW}].$$

Întrucît, în mod obişnuit, momentul forţelor de frecare care nu poate fi prins în calcul (de exemplu forţele de frecare din lagărele pe care carcasa se sprijină în suporturile frînei) nu depăşeşte (1—2)% din valoarea maximă a momentului măsurat, se apreciază că $P_e = P_f$, iar sensibilitatea **f. de î.** hidraulice este foarte bună.

Forţa F se determină cu ajutorul cîntarelor.

Domeniul de funcţionare a **f. de î.** se determină în diagrama de variaţie a pu-

Scanned with OKEN Scanner

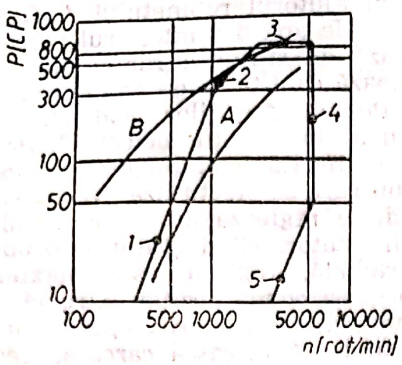


Fig. F.64. Caracteristica frînei hidraulice:
A — caracteristica unui motor termic care poate fi încercat; *B* — caracteristica unui motor termic care nu poate fi încercat.

terii frînate, în funcţie de turaţie (Fig. F.64). Domeniul este cuprins între următoarele limite: *1* — puterea maximă, care se obţine prin umplerea maximă cu apă a f.; *2* — momentul maxim, condiţionat de rezistenţa îmbinării între rotor şi arbore; *3* — puterea nominală, indicată prin secţiunile de intrare şi ieşire a apei şi limitată prin apariţia cavitaţiei; *4* — turaţia maximă, limitată prin specificul lagărelor şi modalitatea de ungere a acestora; *5* — puterea în gol (dar cu un debit de apă suficient pentru funcţionarea sub această limită).

La alegerea unei **f. de î.** trebuie să se aibă în vedere ca o zonă cît mai mare din domeniul de funcţionare a motorului termic să se afle în domeniul caracteristic al unui anumit tip de **f. de î.**

La regimuri de sarcină mică şi mai ales la turaţie redusă ale motorului termic supus încercării, funcţionarea **f. de î.** devine instabilă atît datorită perturbaţiilor ce pot interveni în alimentarea cu apă, cît mai ales datorită formării imperfecte a inelului de apă. Pentru sporirea stabilităţii se măreşte coeficientul de frecare din **f. de î.**, prin intensificarea turbionării din cadrul inelului de apă, realizîndu-se rotoare cu cupe, ştifturi sau discuri multiple, cavităţi alveolare, atît în rotor cît şi în carcasă (**f. hidraulică Froud**) ş.a.

F. de î. electrică este constituită, în principiu, dintr-o maşină electrică, care reprezintă consumatorul de energie mecanică şi un echipament auxiliar, de comandă. **F. de î.** electrică poate fi cu curent continuu sau cu curenţi turbionari.

F. de î. cu curent continuu are la bază o maşină electrică de curent continuu, care absoarbe din reţeaua electrică energia activă, iar de la maşina termică, energia mecanică pe care o transformă în energie electrică reactivă şi o debitează în reţeaua electrică.

Caracteristica **f. de î.** cu curent continuu trebuie să fie comparabilă cu cerinţele maşinii termice (Fig. F.65). Dintre

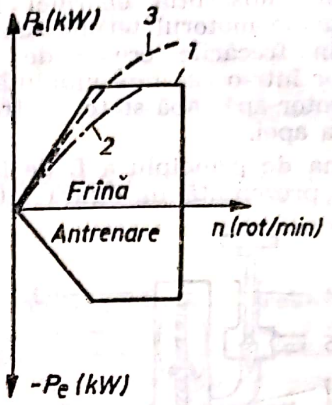


Fig. F.65. Caracteristica frînei electrice de curent continuu:
1 — caracteristica frînei electrice; *2* — caracteristica unui motor termic ce poate fi încercat cu frîna electrică; *3* — caracteristica unui motor termic ce nu poate fi încercat cu frîna electrică.

avantajele mai importante ale **f.** de curent continuu se menţionează: posibilitatea de frînare sau antrenare; gamă mare de puteri; gamă foarte mare de turaţii (60—7 000 rot/min); stabilizare automată a punctului de încercare; nu necesită răcire cu apă.

F. de î. cu curenţi turbionari are drept principiu de funcţionare interacţiunea electromagnetică între cîmpul magnetic fix al statorului şi cîmpul magnetic variabil, produs de curenţii turbionari induşi prin rotirea unui rotor canelat. În principal, **f.** este constituită din

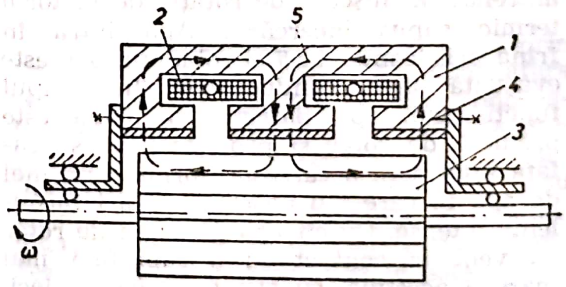


Fig. F.66. Schema frînei electrice cu curenţi turbionari:
1 — stator; *2* — bobine de excitaţie; *3* — rotor canelat; *4* — inel de curenţi turbionari; *5* — linii de forţă.

statorul *1* (Fig. F.66) care conține bobinele de excitație *2* și un inel de curenți turbionari *4*. În interiorul statorului se rotește rotorul canelat *3*. Dacă prin bobinele de excitație *2* trece un curent, în statorul *1* ia naștere un cîmp magnetic ale cărui linii de forță *5* se închid prin inelul de curenți turbionari *4* și rotorul *3* (inductor). Cîmpul magnetic, proporțional cu curentul care circulă prin bobinele statorului, se opune rotirii rotorului, producînd efectul de frînare. Rotorul fiind canelat, fluxul magnetic *5* care ia naștere în stator are caracter pulsator și, ca urmare, în inelul de curenți turbionari (indus) vor apărea tensiuni electromotoare. Datorită circulației acestor curenți, inelul de curenți turbionari se încălzește și astfel energia mecanică a motorului termic se transformă în căldură, care este apoi cedată apei de răcire. Pentru răcirea **f.** se impune menținerea apei la temeratura de 65 °C.

F. de î. cu curenți turbionari au avantajul ușurinței comenzii și reglării, fiind preferate în cazul automatizării încercărilor. Au dezavantajul gabaritelor și costurilor ridicate (dezavantaj existent și la **f.** de curent continuu). Caracteristica **f. de î.** cu curenți turbionari este asemănătoare cu cea a **f. de î.** hidraulice.

Rotorul poate fi și sub formă de disc, iar cîmpul magnetic axial (**f.** de construcție Schenck) (Fig. F.67). În acest fel, se reduce momentul de inerție al inductorului, iar întrefierul rămîne constant, chiar la apariția unor dilatări ale rotorului (dilatarea axială fiind cu mult mai mică decît dilatarea radială).

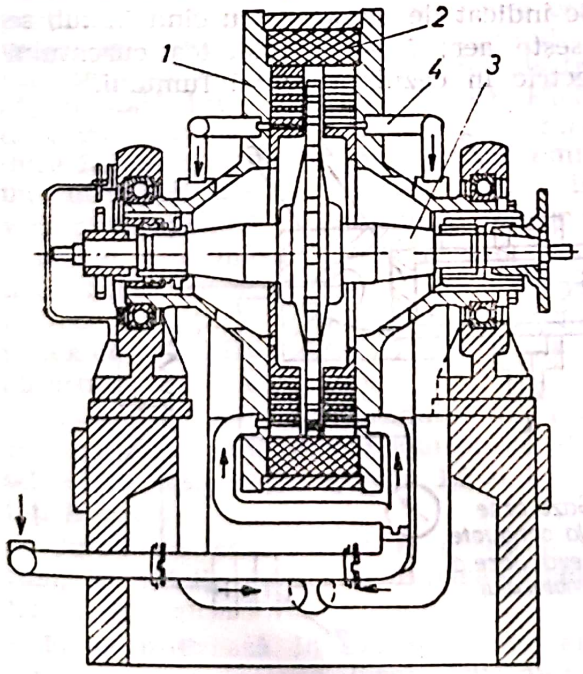


Fig. F.67. Frîna electrică cu curenți turbionari: *1* — stator; *2* — bobină; *3* — rotor; *4* — conducte de răcire.

FUGACITATE. Mărime care stă la baza studiului proprietăților gazelor reale. Este o noțiune introdusă de Lewis (1901) și se notează cu *f*. Cu ajutorul ei se pot utiliza pentru gazul real relațiile termodinamice deduse pentru gazul ideal. Înlocuind presiunea p cu fugacitatea f., în expresia entalpiei libere pentru gazul ideal: $G+G^0+RT\ln p$ (G^0 — entalpia liberă standard — la presiunea standard $p_0=1$ at, R — constanta universală a gazelor, T — temperatura absolută), se obține relația care definește **f.** gazului real:

$$G=G^0p+RT\ln f,$$

unde G^0p este entalpia liberă molară a gazului în starea de referință corespunzătoare $f=1$ at.

Se remarcă faptul că **f.** are semnificația și dimensiunile unei presiuni corectate. Relația dintre **f.** și presiunea p este:

$$f=\varphi\cdot p$$

unde φ este *coeficientul de* **f.**

Coeficientul de **f.** este adimensional. El este o mărime cantitativă a abaterilor gazului real de la comportarea ideală ($\varphi=f/p$).

Variația **f.** cu presiunea se obține, explicitînd termenul $\ln f$ și derivînd în raport cu presiunea:

$$(\partial \ln f/\partial p)_T=V/RT$$

întrucît $(\partial G/\partial p)_T=V$
sau

$$RT\mathrm{d}\ln f=V\mathrm{d}p$$

Prin integrare între $p=1$ at și p, rezultă

$$\ln f=\int_1^p (V/RT)\mathrm{d}p.$$

Relația este valabilă pentru calculul **f.** unui gaz real pur. În cazul unui amestec de gaze, expresia **f.** componentului i din amestec este:

$$\ln f_i=\int_1^p (\overline{V}_i/RT)\mathrm{d}p,$$

unde $\overline{V}_i$ este volumul parțial molar al componentului i din amestec.

Scanned with OKEN Scanner

Variația f. cu temperatura se obține, împărțind relația generală cu T, explicitînd termenul $\ln f$ și derivînd cu T la p=const. Întrucît $\frac{\partial(G/T)}{\partial T} = -H/T^2$, se obține:

$$(\partial \ln f/\partial T)_p = (H^{id} - H^r)/RT^2,$$

unde H^{id} este entalpia gazului ideal, iar H^r — entalpia gazului real.

FUM. Aerosol în care faza dispersă este alcătuită din particule mici în stare lichidă sau solidă: combustibil nears, funingine, picături de apă, cenușă sau alte materiale, antrenate de faza continuă, formată dintr-un amestec de gaze rezultate dintr-un anumit proces (de regulă de ardere) și evacuate în atmosferă.

Evacuarea f. din instalații se face cu ajutorul diferitelor aparate: ventilatoare, exhaustoare, ejectoare etc. Pentru evitarea răspîndirii substanțelor nocive în atmosferă sau pentru recuperarea anumitor materiale, acestea trebuie eliminate din compoziția f. (v. Epurarea gazelor). Metoda cea mai eficientă este cea electrică, bazată pe trecerea f. printr-un cîmp electric neomogen de sens constant, în care particulele aflate în suspensie se ionizează și se depun pe electrozi. Gradul de epurare poate atinge astfel 90—98%.

FUMMETRU. Aparat utilizat pentru determinarea gradului de fum al gazelor de evacuare ale motoarelor diesel.

Prezența fumului în gazele evacuate de motoarele diesel indică o ardere imperfectă, care se datorește reglajului incorect al echipamentului de injecție, uzurii acestuia sau supraîncărcării motorului, respectiv alimentării cu combustibil în exces. O proporție de numai 1% din combustibil sub formă de funingine în gazele de evacuare produce un fum perfect vizibil (v. Grad de fum).

Principiile constructive ale f. se bazează pe:

— măsurarea transparenței gazelor de evacuare (f. fotoelectrice);

— filtrarea gazelor de evacuare și evaluarea cantității de funingine captată (f. cu filtru).

F. fotoelectric utilizează variația gradului de transparență a gazelor de ardere în funcție de cantitatea de funingine conținută. Dacă aceste gaze sînt traversate de o rază luminoasă, ele vor reține o cantitate de lumină, proporțională cu cantitatea de funingine din gaze. Cantitatea de lumină reținută de gaze poate fi evaluată cu ajutorul unei celule fotoelectrice, conectată cu un aparat de măsură (Fig. F.68).

Gradul de fum se definește prin relația:

$$F = \frac{I_0 - I}{I_0} 100\%,$$

unde I_0 este intensitatea curentului electric indicat de ampermetru cînd în tub se găsește aer; I — intensitatea curentului electric în cazul prezenței fumului.

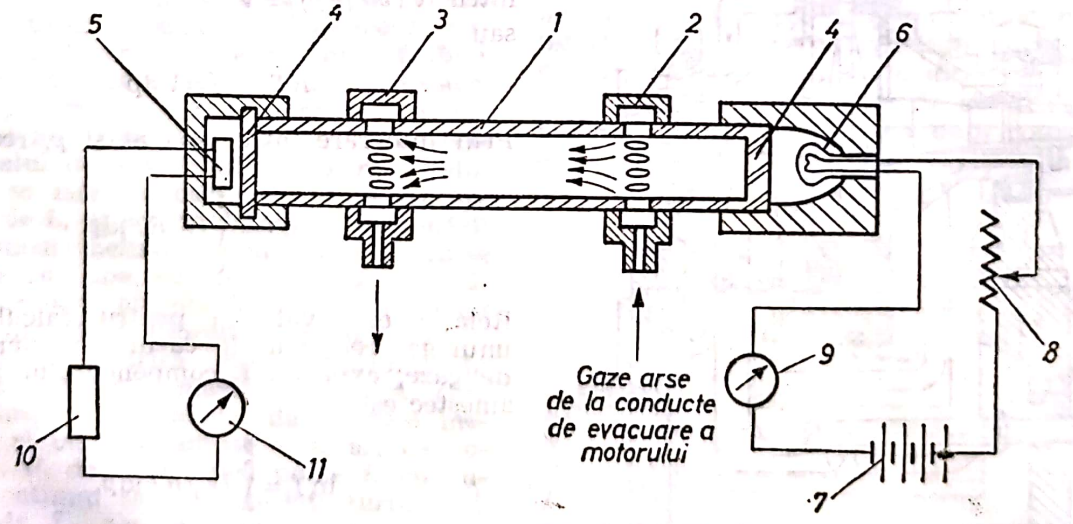


Fig. F.68. Fummetru fotoelectric:
1 — corp cilindric; *2* — intrarea gazelor arse; *3* — ieșirea gazelor arse; *4* — placă de sticlă de vizare; *5* — celulă fotoelectrică; *6* — proiector; *7* — alimentare cu curent continuu; *8* — potențiometru; *9* — voltmetru; *10* — amplificator; *11* — ampermetru.

Scanned with OKEN Scanner

Scara de măsurare a gradului de fum exprimat în procente se numeşte *scară Hartridge.*

F. cu fitlru (F. tip Bosch) funcţionează pe baza înnegririi unui filtru traversat de gazele de ardere evacuate de motor. Gradul de înnegrire a hîrtiei de filtru, corespunzător unui anumit grad de fum, se determină cu ajutorul unei celule fotoelectrice. Schema echipamentului de filtrare al unui **f.** cu filtru este prezentată în figura F.69. Gazele sînt preluate din

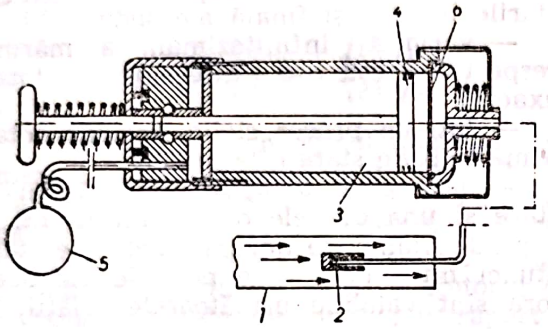


Fig. F.69. Fummetru cu filtru (echipament de filtrare):
1 — conductă de evacuare; *2* — captator de gaze; *3* — cilindru; *4* — piston; *5* — pompă (pară de cauciuc); *6* — hîrtie de filtru.

conducta *1* de evacuare a motorului prin intermediul piesei *2*. Aspiraţia gazelor în cilindrul *3* se efectuează prin deplasarea pistonului *4*, ca urmare a acţionării perei de cauciuc *5*. Gazele de evacuare trec prin hîrtia de filtru *6* care se va înnegri proporţional cu cantitatea de funingine conţinută în gaze. Determinarea gradului de fum se efectuează cu o celulă fotoelectrică, montată într-un aparat anexă. Hîrtia de filtru, parcursă de gazele arse se introduce în aparat. Celula fotoelectrică emite un curent electric a cărui intensitate, invers proporţională cu gradul de înnegrire a hîrtiei, este măsurată cu un ampermetru. Scala ampermetrului este împărţită în zece unităţi. Gradaţia zero corespunde reflexiei unei hîrtii albe, iar gradaţia zece absorbţiei totale a luminii.

Domeniul valorilor gradului de fum, corespunzător funcţionării motoarelor diesel uzuale, este cuprins între 1,5 şi 4 unităţi Bosch.

Curba de echivalenţă a gradului de fum, în scările Bosch şi Hartridge, este trasată în figura F.70.

F. se utilizează în industria motoarelor cu ardere internă (probe curente) şi în laboratoarele de cercetări pentru motoare, în scopul stabilirii performanţelor modelelor experimentale şi prototipurilor.

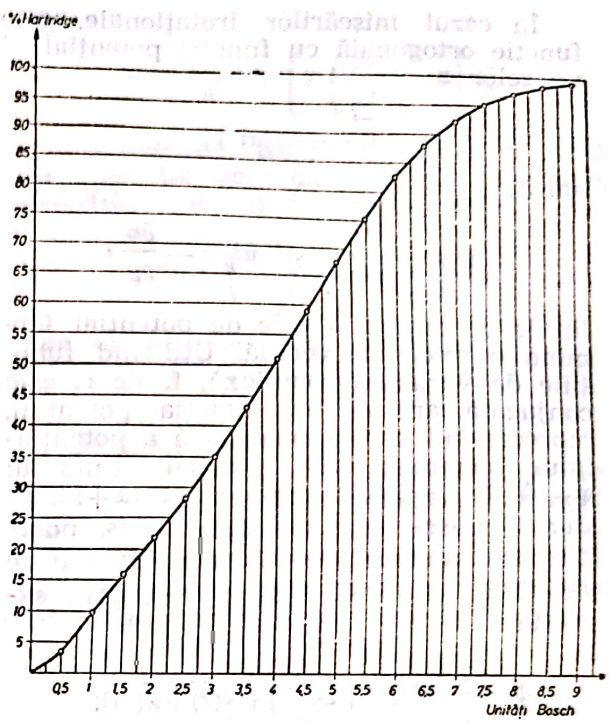


Fig. F.70. Curba de corelare Bosch-Hartridge.

FUNCŢIE DE CURENT. Funcţie care reprezintă ecuaţia liniilor de curent la mişcarea bidimensională a unui fluid, de exemplu mişcare plană sau axial simetrică.

Relaţiile dintre componentele vitezei în coordonate carteziene şi **f. de c.,** ψ:

$$w_x = -\frac{\partial \psi}{\partial y} \quad \text{şi} \quad w_y = \frac{\partial \psi}{\partial x},$$

iar în coordonate polare:

$$w_r = \frac{1}{r}\frac{\partial \psi}{\partial \theta} \quad \text{şi} \quad w_\theta = -\frac{\partial \psi}{\partial r},$$

reprezintă o soluţie a ecuaţiei Laplace în cazul mişcărilor irotaţionale (rot $\vec{w}=0$), adică în coordonate carteziene:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0$$

(satisface, deci, ecuaţia continuităţii pentru mişcarea plană permanentă a fluidului incompresibil):

$$\operatorname{div}(\vec{w}) = 0$$

şi în coordonate polare:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \psi}{\partial \theta^2} = 0.$$

Scanned with OKEN Scanner

În cazul mișcărilor irotaționale, este funcție ortogonală cu funcție potențial al vitezelor φ:

$$\vec{w}=-\text{grad}\,\varphi,$$

adică:

$$w_x=-\frac{\partial\varphi}{\partial x} \quad \text{și} \quad w_y=-\frac{\partial\varphi}{\partial y},$$

liniile de curent și cele de potențial formînd o rețea ortogonală. Utilizînd funcțiile de variabilă complexă, **f. de c.** este conjugată armonic cu funcția potențial, reprezentînd partea imaginară a potențialului complex al mișcării fluidului $\varphi+i\psi$ de variabilă complexă $z=x+iy$. În studiul mișcărilor fluidului vîscos, poate fi exprimată cu ajutorul a două funcții de variabilă complexă $\Phi(z)$ și $\varkappa(z)$ prin expresia:

$$\psi=\frac{1}{2}[\bar{z}\Phi(z)+z\overline{\Phi}(z)+\varkappa(\bar{z})+\bar{\varkappa}(z)];$$

în același timp, fiind funcție biarmonică, reprezintă soluția ecuației cu derivate parțiale:

$$\frac{\partial^4\psi}{\partial x^4}+\frac{\partial^4\psi}{\partial y^4}+2\frac{\partial^2\psi}{\partial x\partial y}=0,$$

utilizată în integrarea ecuațiilor de mișcare în stratul limită plan cu gradient de presiune nul (v. Strat limită) prin schimbările de variabile adimensionale η și f:

$$\frac{\partial w_x}{\partial x}+\frac{\partial w_y}{\partial y}=0 \quad \text{și} \quad w_x\frac{\partial w_x}{\partial x}=w_y\frac{\partial w_y}{\partial y}=$$

$$=\lambda\frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2}$$

$$\eta=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{w_{x_\infty}}{\nu x}}\,y \quad \text{și} \quad f=-\frac{\psi}{\sqrt{\nu w_{x_\infty} x}},$$

în care w_{x_∞} este viteza în exteriorul stratului limită, ceea ce duce la integrarea ecuației diferențiale:

$$\frac{\mathrm{d}^3 f}{\partial\eta^3}+f\frac{\mathrm{d}^2 f}{\partial\eta^2}=0,$$

cu soluția exprimată prin o serie de puteri.

FUNCȚIE TERMODINAMICĂ. Exprimă dependența unei mărimi de stare de alți parametrii de stare ai aceluiași sistem termodinamic, aleși ca variabile independente. Se definește pentru stările de echilibru termodinamic sau pentru alte stări asociate unor transformări reversibile, iar prin derivări parțiale permite obținerea ecuațiilor termice sau calorice de stare.

F.t. are o serie de proprietăți matematice specifice:

— variația mărimii ce definește funcția de stare respectivă într-un proces oarecare termodinamic depinde numai de stările inițială și finală ale sistemului;

— variația infinitezimală a mărimii respective este o diferențială totală exactă;

— într-un proces ciclic, variația totală a mărimii de stare este nulă;

— dacă z, x, y, v, w sînt mărimi de stare și una din ele o definim ca **f.t.** ce depinde numai de doi parametri de stare, atunci între derivatele parțiale ale acestora sînt valabile următoarele relații:

$$\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)\cdot\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)=1$$

$$\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z\cdot\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_x\cdot\left(\frac{\partial x}{\partial z}\right)_y=-1$$

$$\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z=\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_v+\left(\frac{\partial y}{\partial v}\right)_x\cdot\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_z$$

$$\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z=\left(\frac{\partial y}{\partial v}\right)_z\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_z$$

$$\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z=\left(\frac{\partial y}{\partial v}\right)_w\cdot\left(\frac{\partial v}{\partial v}\right)_z+\left(\frac{\partial y}{\partial w}\right)_v\left(\frac{\partial w}{\partial v}\right)_z\cdot$$

Fiecare mărime de stare poate fi pusă sub forma unei **f.t.** în raport cu ceilalți parametrii de stare.

F.t. poate reprezenta și un potențial termodinamic, dacă în anumite situații ea îndeplinește condiții similare funcțiilor de potențial din teoria cîmpurilor, adică:

— variația ei în cursul unei transformări reversibile a sistemului termodinamic este egală cu lucrul mecanic schimbat de sistem (produs sau consumat);

— derivatele parțiale ale funcției în raport cu unele variabile de stare permite determinarea celorlalți parametri de stare;

— definește starea de echilibru termodinamic a sistemului printr-o condiție de minim.

Dintre **f.t.** de stare care îndeplinesc și rolul de potențial termodinamic, se pot menționa: energia internă (U), entalpia

(H), energia liberă (F) și entalpia liberă (G).

Energia internă ca **f.t.** de stare. Poate reprezenta un potențial termodinamic, dacă variabilele de stare în raport cu care se exprimă sînt entropia (S) și volumul (V): $U=U(S,V)$. Din ecuația fundamentală a termodinamicii se deduce:

$$dU=TdS-pdV,$$

iar prin diferențierea ecuației $U=U(S,V)$, rezultă:

$$dU=\left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V dS+\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S dV.$$

Se observă că, în cursul unei transformări reversibile izentropice ($dS=0$), variația energiei interne este egală cu lucrul mecanic efectuat; prin identificarea termenilor celor două relații, se pot deduce parametrii de stare T și p cu ajutorul derivatelor parțiale ale funcției în raport cu S și V:

$$T=\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_V \text{ și } p=-\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S;$$

Dacă S și V rămîn constante, variația energiei interne este nulă ($dU=0$), sistemul termodinamic, considerat ca sistem izolat, fiind în stare de echilibru.

Practic, energia internă U nu se folosește ca potențial termodinamic, deoarece variabila independentă S în raport cu care se exprimă nu poate fi măsurată direct. Se utilizează de regulă ca **f.t.** exprimată în raport cu parametrii termici de stare T și V, sub forma $U=U(T,V)$ a cărei diferențială totală este:

$$dU=\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT+\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV=mc_v dT+$$
$$+\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV$$

sau:

$$du=c_v dT+\left[T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)-p\right]dv.$$

Entalpia ca **f.t.** Poate fi exprimată în raport cu parametrii de stare p și T sub forma $H=H(T,p)$, a cărei diferențială totală este:

$$dH=\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p dT+\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)dp=mc_p dT+$$
$$+\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T dp.$$

sau:

$$dh=c_p dT-\left[T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p-v\right]dp.$$

Ca potențial termodinamic se exprimă în funcție de entropie și presiune, $H=H(S,p)$, avînd diferențiala totală:

$$dH=\left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_p dS+\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_S dp$$

sau, din ecuația fundamentală:

$$dH=TdS+Vdp.$$

Se observă că:

— în cursul unei transformări izentropice ($dS=0$), variația entalpiei este egală cu lucrul mecanic tehnic efectuat;

— prin derivatele parțiale ale entalpiei în raport cu entropia și presiunea, se obțin ceilalți parametrii de stare:

$$T=\left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_p,\quad V=\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_S$$

— entalpia are valori minime în stările de echilibru, dacă S și p rămîn constante:

$$dH>0;\ dH=0;\ d^2H>0.$$

Energia liberă ca **f.t.** Reprezintă partea din energia internă a unui sistem termodinamic care s-ar putea transforma integral în altă formă de energie prin procese termice adecvate; se exprimă sub forma:

$$F=U-TS.$$

Energia liberă ca **f. t.** se exprimmă, de regulă, în raport cu parametrii de stare T și V, $F=F(T,V)$, avînd forma diferențială:

$$dF=\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V dT+\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T dV.$$

Sub această formă, se observă că energia liberă constituie și un potențial termodinamic, deoarece într-un proces izotermic reversibil variația ei este egală cu lucrul mecanic schimbat de sistem; prin derivarea parțială în raport cu V și T se obțin ceilalți parametrii de stare — entropia și presiunea:

$$S=-\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V,\quad p=-\left(\frac{\partial F}{\partial}\right)_T,$$

iar în stările de echilibru are valori minime:

$$dF>0,\ dF=0,\ d^2F>0.$$

Scanned with OKEN Scanner

Se mai numeşte şi *potenţialul Helmholtz, potenţialul termodinamic izocor-izoterm* sau *funcţia I a lui Massieu.*

Entalpia liberă ca **f.t.** Este definită sub forma:

$$G=H-TS.$$

Se exprimă, de regulă, în funcţie de temperatură şi presiune $G=G(T, p)$, avînd forma diferenţială:

$$dG=\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p dT+\left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T dp.$$

În procesele reversibile izobar-izoterme, entalpia liberă capătă caracterul unui potenţial termodinamic, fiind denumită şi *potenţialul lui Gibbs, potenţial termodinamic izobar-izoterm* sau *funcţia II a lui Massieu.* În aceste procese, variaţia entalpiei libere este egală cu lucrul mecanic util produs de sistem, iar prin derivarea parţială a ei în raport cu T şi p, se obţin entropia şi respectiv, volumul:

$$S=-\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p, \quad V=\left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T.$$

În stări de echilibru, entalpia liberă capătă valori minime, $dG=0$, $dG>0$ şi $d^2G>0$ fiind condiţii de echilibru.

Dacă în relaţia de definiţie, temperatura T capătă valoarea T_0, corespunzătoare temperaturii mediului ambiant (starea sistemului ajunge la sfîrşitul procesului în echilibru cu starea mediului ambiant), atunci entalpia liberă coincide ca valoare cu exergia.

FUNCŢIONARE CONTINUĂ. Mod de funcţionare al unei maşini termice (motor cu ardere internă, compresor, turbină cu gaze etc.), în care aceasta lucrează neîntrerupt, timp îndelungat, la unul sau mai multe regimuri de funcţionare.

FUNCŢIONARE INTERMITENTĂ. Mod de funcţionare al unei maşini termice, în care aceasta lucrează cu întreruperi frecvente, de diferite durate.

FUNINGINE. Substanţă solidă de culoare neagră sau brun-închis, produs al arderii incomplete a materialelor organice. Se compune din carbon, substanţe organice, săruri minerale etc. Prin frecarea cu ulei, din **f.** se poate obţine vopsea. Datorită conductivităţii termice reduse $\left(\lambda=0{,}07—0{,}12\frac{W}{m\cdot K}\right)$, în trecut **f.** era folosită ca material termoizolant pentru temperaturi joase. Depunerile de **f.** de pe pereţii focarelor şi ai camerelor de ardere determină înrăutăţirea schimbului de căldură prin aceste suprafeţe şi creşterea pierderilor de căldură prin gazele evacuate, iar depunerile din interiorul coşurilor şi canalelor de fum pot duce la obturarea şi chiar la înfundarea acestora, cu reducerea corespunzătoare a tirajului.

FUS. Porţiune cilindrică, conică, sferică etc. a unui arbore, a unui ax sau a unei osii, care se reazemă şi se roteşte în lagăr, căruia îi transmite sau preia sarcina.

F. maneton. Porţiune cilindrică a cotului arborelui cotit al maşinilor termice, situată între două braţe ale acestuia, pe care se asamblează capul bielei, formînd lagărul maneton. **F.** maneton preia sarcina din mecanismul motor, prin intermediul bielei (v. Arbore cotit).

F. palier. Porţiune cilindrică a arborelui cotit al maşinilor termice, comună la două coturi adiacente, care se sprijină în lagărele palier din carterul maşinilor termice respective. Prin intermediul **f.** palier, forţele şi momentele din mecanismul motor se transmit lagărului palier şi de aici carterului maşinilor termice (v. Arbore cotit).

FUZIBILITATE. Mărime care creşte monoton cu valoarea temperaturii absolute de topire a unei substanţe definite, respectiv cu valoarea temperaturii mijlocii de înmuiere a unui material. Încercările de **f.** a materialelor se efectuează fie cu ajutorul suflătorului, la flacăra unui bec Bunsen, fie prin încălzire într-un cuptor electric.

FUZIUNE TERMONUCLEARĂ. Proces de formare a unor nuclee mai grele din două nuclee mai uşoare, cu dezvoltarea unei cantităţi de energie.

Interesul pentru reacţia nucleară de fuziune este justificată de speranţa că, în viitor, ea va putea fi folosită pentru producerea de energie utilă şi nu ca pînă acum în procese distructive, ca de exemplu, bomba cu hidrogen. Interesante din punct de vedere energetic sînt reacţiile de fuziune în care intervin izotopii hidrogenului, deuteriul ($D=H_1^2$, cu masa atomică $A=2$) şi tritiul ($T=H_1^3$, cu masa atomică $A=3$). Deoarece principalul combustibil de fuziune, deuteriul, există în natură putîndu-se obţine practic în cantităţi inepuizabile (la separarea hidrogenului greu din apă, un atom de deuteriu apare la 6 000 atomi de hidrogen), prin **f.t.** s-ar soluţiona problema energiei pe plan mondial. În acest mod, s-ar rezolva practic şi definitiv problema epuizării rapide a combustibililor fosili (petrol, gaze naturale etc.), folosiţi în prezent în instalaţiile

Scanned with OKEN Scanner

energetice, putînd fi în viitor valorificabili în condiţii superioare prin procese şi procedee chimice. Ca sursă de energie primară, absenţa deşeurilor radioactice şi poluante din reacţia de **f.t.** reprezintă un alt argument în favoarea acestei reacţii, în comparaţie cu fisiunea uraniului, utilizată în prezent.

Într-o reacţie de **f.t.**, la ciocnirea a două nuclee cu energii ridicate, rezultă o redispunere a nucleonilor acestora (protoni şi neutroni), formîndu-se două sau mai multe produse de reacţie, simultan cu degajarea de energie. Energia apare, de regulă, sub formă de energie cinetică a produselor de reacţie (protoni şi neutroni) şi, uneori, parţial şi ca energie de excitaţie a unui nucleu. Spre deosebire de reacţiile nucleare produse de neutroni, ciocnirea a două nuclee, datorită sarcinii pozitive a acestora, necesită o energie cinetică iniţială apreciabilă pentru a învinge forţele de respingere (electrostatice) reciproce dintre nuclee, astfel încît reacţia să poată avea loc. Această energie iniţială creşte proporţional cu mărimea sarcinei electrice a nucleului Z; astfel, reacţiile între nucleele cu Z mic sînt cele mai uşor de produs. Cele mai bine stăpînite sînt reacţiile dintre izotopii grei ai hidrogenului, deuteriul şi tritiul.

Reacţiile de f.t. pot fi autoîntreţinute, dacă au loc la temperaturi foarte ridicate. Astfel, dacă combustibilul de fuziune se găseşte sub formă de plasmă, energia de agitaţie a nucleelor este foarte mare; ea poate depăşi repulsia lor reciprocă şi, ca urmare, reacţia de fuziune poate avea loc spontan. *Plasma* reprezintă un amestec gazos puternic ionizat. Plasma de înaltă temperatură stă la baza mecanismului de producere a energiei în stele şi în bomba cu fuziune, fiind, de asemenea, considerată ca metoda de producere controlată a energiei de fuziune.

Cele mai importante reacţii de fuziune, produsele lor de reacţie şi energia corespunzătoare dezvoltată în milioane electrovolţi (MeV) sînt următoarele:

$H_1^2+H_1^2\rightarrow He_2^3+n_0^1+3{,}27$ MeV (ramură neutronică);

$H_1^2+H_1^2\rightarrow H_1^3+H_1^1+4{,}03$ MeV (ramură protonică);

$H_1^3+H_1^2\rightarrow He_2^4+n_0^1+17{,}6$ MeV;

$He_2^3+H_1^2\rightarrow He_2^4+H_1^1+18{,}3$ MeV;

$Li_3^6+H_1^2\rightarrow 2He_2^4+22{,}4$ MeV;

$Li_3^7+H_1^1\rightarrow 2He_2^4+17{,}3$ MeV.

Neutronii obţinuţi în ramura neutronică şi în ramura protonică pot fi folosiţi pentru regenerarea tritiului, în urma unei interacţii cu litiul:

$$Li_3^6+n_0^1\rightarrow He_2^4+H_1^3+4{,}6 \text{ MeV}$$

(litiul cu masa atomică $A=6$ reprezintă aproximativ 7,5% din litiul natural).

Dacă în reacţia chimică de combinare dintre hidrogen şi oxigen pentru formarea unei molecule de apă se dezvoltă aproximativ 1 eV pe reacţie, se observă că pentru aceeaşi masă de 1 g, combustibilul de fuziune produce de peste 10^6 ori mai multă energie decît combustibilii convenţionali.

Primele două reacţii apar cu probabilităţi aproximativ egale, pentru aceleaşi energii ale particulelor. Produsele grele de reacţie, tritiul şi heliul-3, pot de asemenea reacţiona cu dezvoltarea unei mari cantităţi de energie. Astfel, este posibilă vizualizarea unei reacţii în lanţ în care şase deuteroni sînt transformaţi în două nuclee heliu-4, doi protoni şi doi neutroni, cu degajarea unei energii totale de 43 MeV, ceea ce reprezintă aproximativ 10^5 kWh de energie pe 1 g de deuteriu. Această dezvoltare de energie este de cîteva ori mai mare decît energia produsă prin fisiune de către 1 g de uraniu şi de peste 12 milioane ori mai mare decît aceea dezvoltată de 1 g de combustibil convenţional (1 gcc=7 kcal=0,00814 kWh).

În figura F.71 se arată variaţia secţiunilor eficace (care reprezintă o măsură a

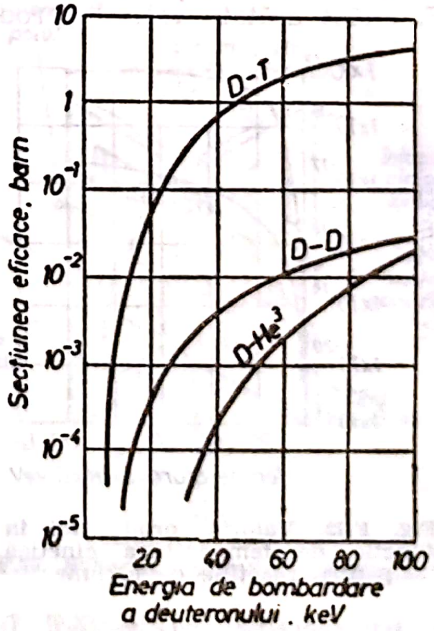


Fig. F.71. Secţiunile eficace în funcţie de energia de bombardare pentru trei reacţii simple de fuziune.

probabilității de desfășurare a unei reacții nucleare exprimată sub forma unei suprafețe de reacție măsurată în barn, 1 barn $=10^{-24}$ cm^2) în funcție de energia de bombardare de pînă la 100 keV pentru reacția neutronică, protonică și reacția D-He_2^3. Cea mai importantă caracteristică a acestor curbe o constituie scăderea rapidă a secțiunilor eficace cu micșorarea energiilor de bombardare pînă la valori de ordinul keV. Acest efect se datorește repulsiei electrostatice reciproce a nucleelor, care împiedică apropierea lor, dacă energia relativă a acestora este mică.

Intensitatea reacției de f.t. Atunci cînd reacția de fuziune are loc într-o plasmă de înaltă temperatură, intensitatea reacției pe unitatea de volum depinde de densitatea n a particulelor de combustibil care reacționează, de secțiunea eficace medie de reacție σ și de viteza relativă v a particulelor pe întregul spectru de distribuție a vitezei.

Pentru interacțiunea dintre nuclee diferite (ca, de exemplu, D și T), intensitatea reacției de fuziune este:

$$I_{12}=n_1 n_2(\sigma v)_{12} \quad [\text{reacții/cm}^3\cdot\text{s}].$$

La interacțiunea dintre nuclee similare (ca, de exemplu, D și D), interacțiunea reacției de fuziune este:

$$I_{11}=(1/2)n^2(\sigma v) \quad [\text{reacții/cm}^3\cdot\text{s}].$$

Se observă că, în ambele expresii, pentru o compoziție dată a combustibilului, intensitatea I este proporțională cu pătratul densității totale a particulelor. În figura F.72 sînt arătate valorile produsului

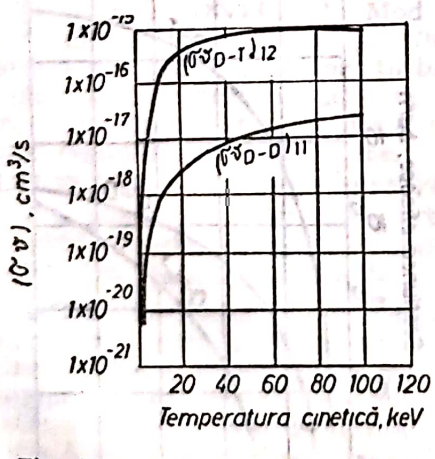


Fig. F.72. Valorile produsului în funcție de temperatura cinetică pentru reacțiile de fuziune.

(σv) pentru reacțiile D-D și D-T. În diagramă, temperatura cinetică este exprimată în unități de energie (keV); 1 keV temperatura cinetică$=1{,}16\cdot10^7$ °K. Ca și în cazul secțiunilor eficace σ, caracteristica acestor curbe este descreșterea extrem de rapidă cu temperatura la temperaturi scăzute. De exemplu, dacă la 100 keV pentru toate reacțiile produsul (σv) este foarte puțin dependent de temperatura absolută T, în schimb la 1 keV el variază cu $T^{6,3}$, iar la 0,1 keV cu T^{133}.

Temperaturi critice. Reacția termonucleară de fuziune poate fi autoîntreținută, numai dacă energia pierdută de combustibilul reactant este mai mică decît energia generată prin reacțiile de fuziune. Consecința directă a acestui fapt o constituie existența unor temperaturi critice sau ideale de amorsare sub care reacția de fuziune nu se poate autoîntreține, chiar în condiții ideale. Într-un reactor de fuziune, temperaturile critice ideale sau minime sînt determinate de pierderile inevitabile de radiație din plasmă. Valoarea minimă a radiației emisă de orice plasmă este aceea emisă de plasma pură de hidrogen sub formă de raze X și radiații de frînare. În felul acesta, plasmele compuse numai din izotopii hidrogenului și electronii respectivi trebuie să aibă cele mai scăzute temperaturi teoretice de amorsare. Astfel, comparînd energia nucleară dezvoltată cu pierderile prin radiație, se poate arăta că temperatura critică pentru reacția D-T este de aproximativ $4\cdot10^7$ K. Pentru reacția D-D ea este de circa 10 ori mai mare. Deoarece atît intensitatea radiației, cît și puterea nucleară variază cu pătratul densității particulelor, aceste temperaturi critice sînt independente de densitate în domeniul de interes practic. Conceptul de temperatură critică este totuși idealizat, deoarece în toate cazurile reale apar pierderi suplimentare care modifică situația, mărind temperatura necesară.

Reactoare de f.t. Interesul deosebit pentru fuziunea nucleară decurge din faptul că aceasta reprezintă o sursă sigură și inepuizabilă de energie pentru viitor. Reactoare de fuziune nu sînt încă realizate în lume pînă în prezent, dar începînd din anul 1950 se efectuează studii intense privind realizarea lor.

Cele două probleme de bază în obținerea de putere netă de la un reactor de fuziune sînt, prima, încălzirea combustibilului de fuziune pînă la temperatura ridicată necesară și, a doua, închiderea sau delimitarea (operație numită *confinare*) combustibilului încălzit pentru un timp suficient de lung ca energia de fuziune dezvoltată să depășească energia necesară de încălzire a combustibilului pînă la temperatura de amorsare, inclusiv toate pierderile asociate. În formularea de mai sus,

Scanned with OKEN Scanner

cele două condiții restrictive de producere de putere netă prin fuziune reprezintă criteriul lui Lawson, propus de acesta în 1956. El a calculat bilanțul energetic al unui reactor ipotetic de fuziune, luînd în considerare, pe de o parte, energia obținută în urma reacțiilor de fuziune și, pe de altă parte, energia pierdută prin radiație și conducție termică. Deoarece la temperaturile la care pot avea loc reacții de fuziune, deuteriul și tritiul sînt complet ionizați, în bilanțul energetic Lawson a ținut seamă doar de pierderea de energie prin radiație de frînare (radiație care apare în urma „frînării" electronilor în cîmpul coulombian al altor particule încărcate din plasmă). Energia radiată astfel, din unitatea de volum a plasmei și în unitatea de timp a fost calculată cu relația:

$$q = 5{,}35 \cdot 10^{-31} n^2 T^{\frac{1}{2}} \quad [\mathrm{W/cm^3}].$$

Pierderile de energie prin conducție depind de mai mulți factori, printre care geometria sistemului, materialul din care sînt construiți pereții incintei care conține plasma, distribuțiile de temperatură și densitatea în interiorul sistemului.

Tehnica folosită la încălzirea plasmei trebuie să fie capabilă să ridice combustibilul de fuziune la temperatura de 10^8 K sau mai mult, temperatură critică la care reacția de fuziune se autoîntreține. Nu trebuie înțeles de aici că, dacă se atinge temperatura critică, combustibilul nuclear „arde" pînă ce se consumă complet. Aceasta s-ar întîmpla, dacă particulele din plasmă nu ar ajunge să atingă pereții incintei, rămînînd ca toată energia eliberată să fie folosită pentru întreținerea reacției. În realitate, produșii de reacție nu pot fi reținuți în sistem. Se poate considera următorul ciclu: gazul este încălzit la temperatura critică T, aceasta este menținută un timp τ (de ordinul secundelor), după care gazul se răcește. Energia folosită pentru încălzirea gazului și pentru acoperirea pierderilor prin radiație se regăsește apoi în căldură utilă.

Pentru a exista un cîștig net de energie trebuie ca:

$$\eta + \eta R > 1,$$

unde R este raportul dintre energia eliberată prin reacția de fuziune și suma dintre această energie și energia necesară pentru încălzirea gazului la temperatura T, iar η — randamentul procesului de transformare a energiei produse prin reacția de fuziune în energie electrică sau mecanică. Admițînd pentru η o valoare de cel mult 1/3, rezultă că $R \geqslant 2$.

Condițiile reale pentru parametrii unei plasme reactante, cu cîștig net de energie, sînt:

— pentru reacții *D-D*: $T \geqslant 100$ keV, $n\tau \geqslant 10^{16}$ s/cm³;

— pentru reacții *D-T*: $T \geqslant 10$ keV, $n\tau \geqslant 10^{14}$ s/cm³,

unde n este densitatea nucleelor care interacționează [1/cm³], iar τ — timpul de menținere a reacției de fuziune [s].

Astăzi, se consideră două procedee potențiale de obținere a energiei nete prin fuziune, și anume: *confinarea magnetică* și *fuziunea granulară*.

Confinarea magnetică se bazează pe faptul că la temperatura de fuziune combustibilul va fi complet ionizat, deci sub formă de plasmă. Particulele încărcate electric pot fi captate de către un cîmp magnetic cu o formă adecvată și ca urmare izolate de pereții camerei reactorului, cu care, dacă ar veni în contact fizic, ar răci plasma instantaneu.

În cadrul unor experimente de mari dimensiuni, au fost studiate trei sisteme generale ca posibile reactoare de fuziune:

a) Sistemul „tokamak" (Fig. F. 73) este un dispozitiv închis, de tip toroidal. El folosește cîmpuri de confinare reprezentînd o combinație între un cîmp puternic exterior, produs de spire înfășurate în jurul camerei de confinare și un cîmp interior mai slab autoîntreținut, re-

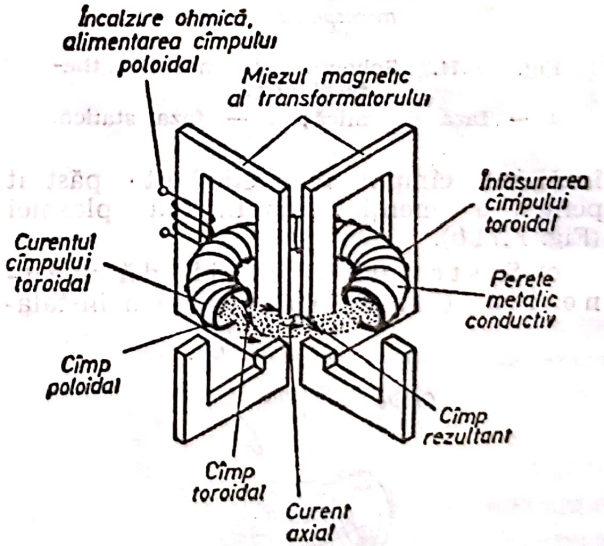


Fig. F.73. Schema sistemului „tokamak".

zultat dintr-un curent circular indus în plasmă de un transformator. Atît cîmpul principal, cît și curentul circular sînt direcționate toroidal; se obține astfel un cîmp rezultant cu linii de cîmp elicoidale.

b) Sistemul „theta-pinch" (pinch linear) se prezintă fie sub forma unui tor subțire, fie sub forma unui tub lung. Sistemul urmărește, în principal, problema încălzirii plasmei de densitate ridicată pînă la temperaturile de fuziune. Încălzirea este însoțită de un cîmp de confinare pulsatoriu de ordinul microsecundelor, ambele procese, șocul termic și comprimarea plasmei, producînd temperatură ridicată (Fig. F.74 *a*). După faza de

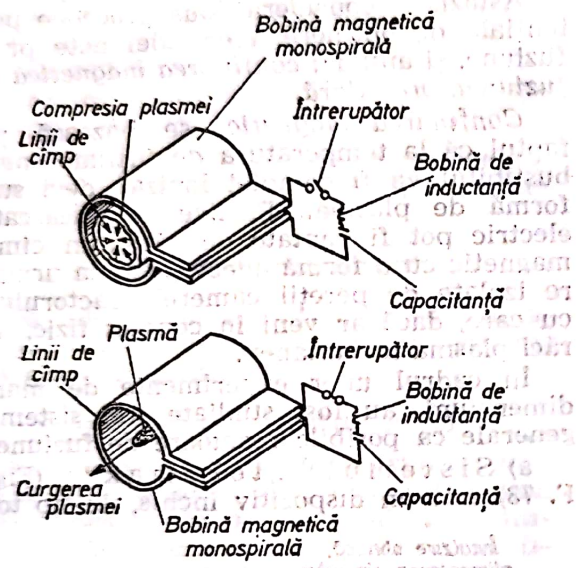


Fig. F.74. Schema sistemului „theta-pinch":
a — faza dinamică; *b* — faza statică.

încălzire, cîmpul magnetic este păstrat pentru a menține confinarea plasmei (Fig. F.74 *b*).

c) Sistemul de oglindă magnetică (Fig. F.75) reprezintă o instala-

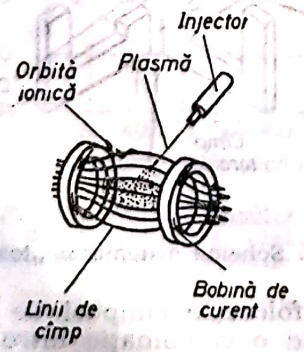


Fig. F.75. Schema sistemului cu oglindă magnetică.

ție în care plasma este captată prin reflexii repetate ale particulelor ei între oglinzi magnetice (zone de cîmp magnetic intens la fiecare capăt al camerei de confinare). El folosește astfel forța de respingere exercitată asupra unei particule încărcate în timpul deplasării ei în spirală de-a lungul liniilor convergente ale unui cîmp magnetic, respectiv un cîmp de intensitate crescîndă. Particulele încărcate se reflectă în punctele oglindă, continuîndu-și drumul spiralat, ca o pendulare, atît timp cît orientarea inițială a vitezei sale împiedică intrarea în conul de pierderi. Pentru evitarea pierderilor de particule și energie prin punctele oglindă, au fost construite și *instalații cu capcane magnetice închise*, în care fiecare punct oglindă se continuă cu altă regiune de confinare, închizîndu-se într-un tor. În incintele experimentale de acest tip, se crează cîmpul magnetic de configurația aleasă, după ce s-a realizat un vid înaintat. Pentru crearea plasmei au fost propuse și încercate diferite modalități de injectare a acesteia în zona centrală a instalației. Un astfel de sistem injectează un nor de plasmă captată în cîmpul magnetic variabil și încălzită prin compresie sau prin injecția unui fascicul de ioni de la un „tun de ioni" plasat pe axa instalației.

Cel de al doilea procedeu de obținere de energie, prin *fuziune granulară*, se bazează pe *implozia rapidă* cu degajare de căldură a unor granule (pastile) de combustibil de densitate ridicată. În acest procedeu, sînt necesari factori de compresie a granulelor de ordinul a 10^4. Această problemă se încearcă a fi rezolvată prin folosirea unor lasere multifasciculare de foarte mare putere.

Dintre concluziile etapei actuale de cercetări și încercări experimentale privind producerea la scară industrială de energie prin fuziune se menționează reactoarele toroidale cu confinare magnetică care par a fi soluțiile cele mai promițătoare, la niveluri tipice de putere de peste 500 MW.

Scanned with OKEN Scanner

G

GALERIE DE ADMISIE; GALERIE DE EVACUARE. Canal practicat în chiulasa motoarelor cu ardere internă, component al sistemelor de admisie și de evacuare, mărginit la capătul spre cilindrul motorului de supapele de distribuție și care, prin forma sa geometrică, favorizează desfășurarea optimă a procesului de schimb de gaze. În funcție de sistemul căruia îi aparține, se disting: galerie de admisie și galerie de evacuare. Aceste două tipuri sînt specifice sistemului de distribuție al motoarelor în patru timpi cu admisie normală sau cu supraalimentare. Pentru motoarele în doi timpi cu baleiaj în echicurent lipsește **g. de a.**, iar pentru cele cu baleiaj în buclă, lipsesc ambele galerii. În figura G.1 se prezintă schema

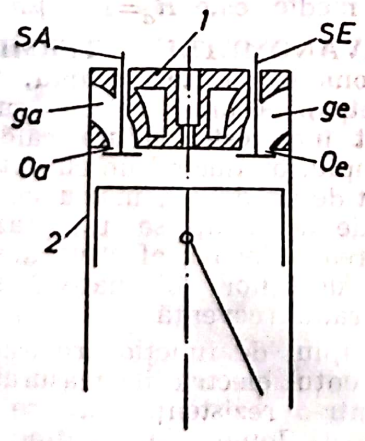


Fig. G.1. Schema sistemului de distribuție a gazelor în zona galeriilor de distribuție.

unei părți din sistemul de distribuție al unui motor în patru timpi, **g.a.** și **g.e.** fiind practicate de o parte și de alta a chiulasei. La extremitatea spre cilindru, **g.a.** și **g.e.** sînt prevăzute cu orificiile de admisie O_a și de evacuare O_e, obturate de supapa de admisie *SA* și de evacuare *SE*. La cealaltă extremitate, sînt dispuse colectoarele de admisie și de evacuare (nefigurate în schemă).

G.a. și **g.e.** pot fi dispuse după diferite scheme (Fig. G.2). Schema din figura

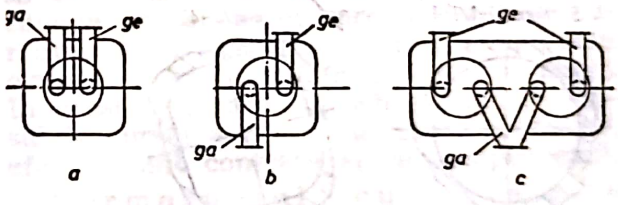


Fig. G.2. Soluții de dispunere a galeriilor de distribuție.

G.2*a* este recomandabilă pentru motoarele cu aprindere prin scînteie, deoarece **g.e.** încălzește **g.a**, favorizînd vaporizarea combustibilului din amestecul care pătrunde în cilindru. Schemele din figura G.2 *b* și G.2 *c* sînt utilizate la motoarele cu aprindere prin comprimare, deoarece împiedică încălzirea **g.a.** și, deci, a aerului admis, cu consecințe favorabile asupra umplerii cilindrilor. Pentru a reduce pierderile gazodinamice, galeriile de distribuție se execută cu secțiune variabilă, descrescătoare spre orificiile obturate de su-

Scanned with OKEN Scanner

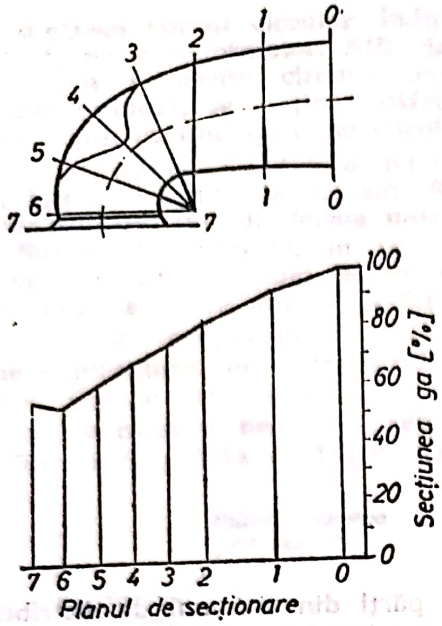


Fig. G.3. Variația secțiunii pentru o galerie de admisie.

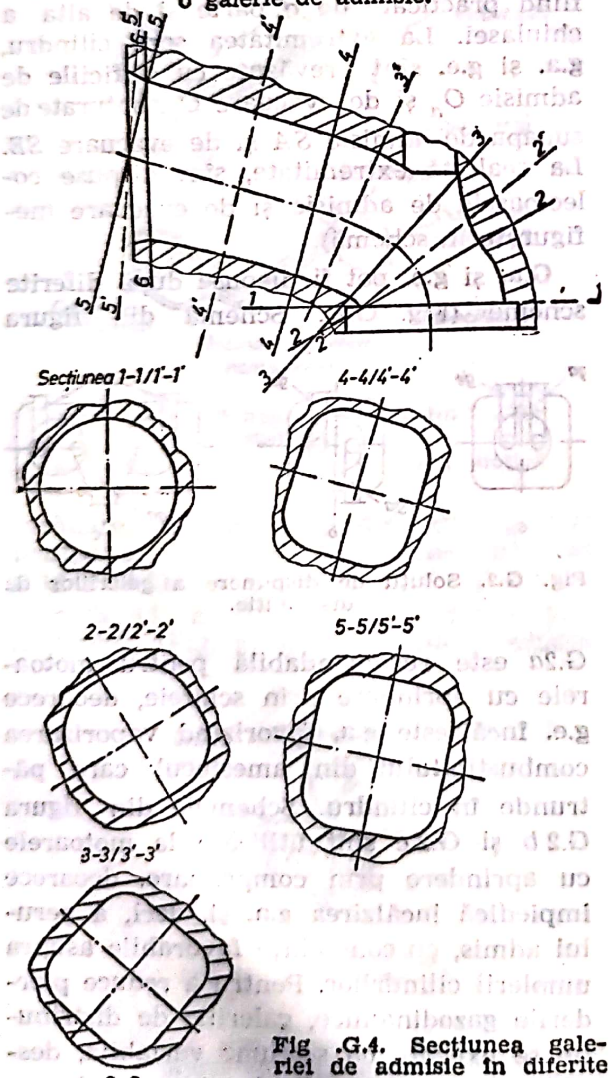


Fig .G.4. Secțiunea galeriei de admisie în diferite secțiuni.

pape (Fig. G.3). De asemenea, pentru realizarea unor caracteristici gazodinamice optime, g.a. se execută și cu secțiunea transversală variabilă ca formă geometrică (Fig. G.4).

În cazul motoarelor cu aprindere prin comprimare cu injecție directă, forma geometrică a g.a. contribuie la îmbunătățirea formării amestecului prin organizarea mișcării aerului admis în cilindru.

Pentru creșterea performanțelor gazodinamice, diametrul suprafeței tronconice controlate de supapa de admisie (egal cu diametrul talerului supapei d_{SA}) se stabilește la valoarea $d=(0{,}42\ldots0{,}50)D$, iar diametrul galeriei, în zona sediului supapei, la valoarea $d_g=0{,}865\ d$ (Fig. G.5). Dia-

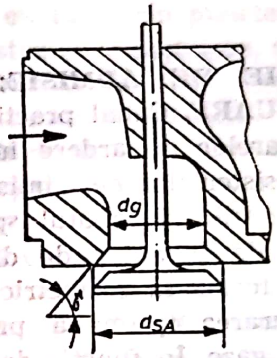


Fig. G.5. Schema traseului galeriei de admisie.

metrul g.a. se realizează cu (10...20)% mai mare decît diametrul g.e. pentru ameliorarea umplerii cilindrului. Valorile acestor diametre se verifică din condiția vitezei medii convenționale de curgere a gazului admis: 70—90 m/s pentru g.a. și 80—110 m/s pentru g.e.

Calitatea prelucrării suprafeței interioare a g.a. și g.e., exprimată prin rugozitatea medie, este $R_a=12{,}5$ μm.

GALVANOMETRU TERMIC (Sin.: **Galvanometru cu termocuplu; Termogalvanometru**). Aparat la care curentul de măsurat încălzește sudura caldă a unui termocuplu, producînd un curent secundar, măsurat de un galvanometru sensibil. Aparatele de acest tip se utilizează pentru măsurarea valorilor efective ale tensiunilor și curenților alternativi, sinusoidali sau de radiofrecvență.

Principiul de funcționare este următorul: curentul electric de măsurat este trecut printr-o rezistență care se încălzește prin efect Joule, determinînd creșterea temperaturii sudurii calde a unui termocuplu solidar cu ea. Tensiunea electromotoare generată în circuitul termocuplului,

prin *efect Seebeck*, produce un curent electric de mică intensitate, măsurat cu ajutorul unui galvanometru sensibil. Deoarece în efectul Seebeck intervin numai temperaturile celor două suduri ale termocuplului, una fiind constantă (temperatura mediului ambiant), iar cealaltă fiind funcție numai de căldura dezvoltată prin efect Joule, indicația aparatului depinde numai de căldura dezvoltată prin efect Joule. Deoarece, pe de altă parte, căldura dezvoltată prin efect Joule nu depinde de frecvența curentului și nici de forma acestuia, ci numai de valoarea sa efectivă, indicația aparatului va fi proporțională cu valoarea efectivă a curentului de măsurat.

În tabelul G.1. sînt indicate valorile tensiunii electromotoare care se dezvoltă

Tabelul G.1

Tensiunea electromotoare în termocupluri cu sudura rece la 20°C

Termocuplu format din:	t.e.m. [mV]			
	100 °C	500 °C	1 000 °C	1 500 °C
Fier-Constantan	4,249	26,369	—	—
Cupru-Constantan	3,438	26,089	—	—
Cromel-Alumel	3,297	19,842	40,471	—
Platin-Platin-Rhodiu (10%)	0,532	4,121	9,427	15,463
Argint-Platină	0,720	6,260	—	—
Nichel-Platină	1,500	5,550	9,590	—

la cîteva termocupluri uzuale, avînd sudura rece la temperatura mediului ambiant (20°C).

Randamentul aparatelor cu termocuplu, adică raportul dintre energia utilă din circuitul termocuplului și energia din circuitul de încălzire (primar), este mic, de ordinul a 0,1%. Curentul generat de tensiunea electromotoare care apare în circuitul termocuplului este măsurat de un galvanometru, care poate fi de orice tip. Pentru utilizare, aparatul trebuie etalonat.

În figurile G.6 *a* și *b* sînt prezentate modurile de realizare ale termocuplurilor. Se dosebesc: termocupluri cu încălzire directă și termocupluri cu încălzire indirectă.

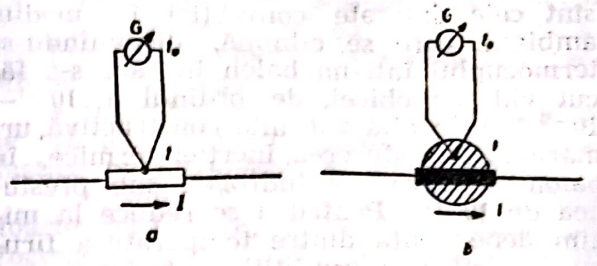


Fig. G.6. Termocupluri:
a — cu încălzire directă; *b* — cu încălzire indirectă.

Termocuplul cu încălzire directă este realizat prin cuplajul galvanic, direct, al sudurii calde cu firul rezistiv de încălzire. Acest mod de realizare prezintă dezavantajul că etalonarea aparatului nu se poate face în mod continuu. Existînd cuplaj galvanic între termocuplu și firul de încălzire, o parte din *curentul de etalonare* se închide prin aparatul de măsurat (galvanometru). Acest lucru face ca, pentru curenți de etalonare egali, dar de sensuri diferite, indicațiile aparatului să fie diferite, curentul de etalonare adunîndu-se sau scăzîndu-se la curentul produs de tensiunea electromotoare din circuit. La acest efect se adaugă *efectul Peltier*, care determină sudura termocuplului să se încălzească sau să se răcească, în funcție de sensul în care o parcurge curentul. Această eroare poate fi evitată prin etalonarea aparatului în curent alternativ. În acest caz, curentul schimbîndu-și sensul în cursul a două alternanțe succesive, efectele sînt contrare și se compensează.

Termocuplul cu încălzire indirectă nu prezintă acest fenomen, deoarece între circuitul termocuplului și cel de încălzire nu există nici o legătură galvanică, între acestea fiind dispusă o perlă dintr-un material izolant. Rolul perlei este de a menține sistemul rigid și, totodată, de a concentra căldura, mărind în acest fel sensibilitatea. La termocuplurile cu încălzire indirectă (care sînt cele mai răspîndite) se iau precauții speciale în vederea compensării *efectului inductanței* și al *capacității parazite* pe care le prezintă firul încălzitor, astfel încît acesta să fie pur rezistiv. Conexiunile se dispun paralel, astfel încît să se prezinte ca un fir determinat pe rezistența sa caracteristică și, deci, la extremitatea sa să se simtă o

Scanned with OKEN Scanner

rezistență egală cu cea a firului încălzitor. Curentul măsurat va fi, ca urmare, egal cu curentul din firul încălzitor. Pentru a se mări sensibilitatea aparatului, trebuie evitate toate pierderile de căldură. Dintre acestea, cele mai importante sînt cele datorate convecției în mediul ambiant, care se elimină, dispunîndu-se termocuplul într-un balon în care s-a făcut vid (de obicei, de ordinul a 10^{-1}—10^{-2} Pa). În altă variantă constructivă, urmărindu-se reducerea inerției termice, în balon se introduce hidrogen sub presiunea de 10 Pa. Pentru a se reduce la minim dependența dintre temperatura firului încălzitor și condițiile exterioare, balonul de sticlă în care se găsește termocuplul se montează într-o cutie confecționată dintr-un material izolant termic și umplută cu vată de sticlă (Fig. G.7).

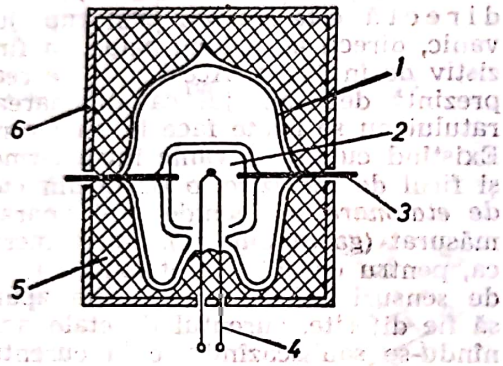


Fig. G.7. Termocupluri cu încălzire indirectă:
1 — balon de sticlă vidat; *2* — perlă izolantă; *3* — fir încălzitor; *4* — termocuplu; *5* — izolație din vată minerală; *6* — cutie.

La aparatele cu termocuplu, firul încălzitor are o mare rezistivitate. Materialul din care este confecționat nu este magnetic pentru ca efectul pelicular să fie cît mai puțin pronunțat. Materialele obișnuite din care se confecționează firele încălzitoare sînt: constantanul, crom-nichelul, platin-cromelul. Energia absorbită de firul încălzitor variază de la un aparat la altul, în funcție de intensitatea curentului prin firul încălzitor, fiind cuprinsă uzual între 0,1 și 10 mV.

Domeniul de utilizare al aparatelor cu termocuplu se referă la măsurarea intensității sau tensiunii efective a curenților de radiofrecvență sau puterii microundelor. În cazul utilizării ca ampermetru, se pot măsura valori efective ale intensității între cîțiva miliamperi și cîțiva zeci de amperi. Cînd este utilizat ca voltmetru, aparatul poate măsura tensiuni efective de la cîțiva milivolți la cîteva sute de volți.

Deoarece galvanometrele utilizate ca aparate indicatoare au scara gradată liniar, iar termocuplurile, în general, sînt neliniare, se utilizează montaje de compensare a neliniarității (Fig. G.8). Semnalul de intrare, amplificat sau nu, se aplică firului încălzitor al termocuplului de măsură. Prin firul încălzitor al termocuplului de compensare trece curentul continuu de reacție luat de la ieșirea amplificatorului de curent continuu. Acestui amplificator i se aplică la intrare diferența tensiunilor de la ieșirea celor două termocupluri. Circuitul este, în fond, un sistem de reglaj care ajustează în permanență încălzirea termocuplului de compensare, în funcție de încălzirea termocuplului de măsură. Indicația instrumentului este proporțională cu tensiunea continuă de reacție care, la rîndul său, este proporțională cu valoarea efectivă a semnalului de intrare, dacă cîștigul pe bucla de reacție este suficient de mare. Datorită montajului diferențial, neliniaritățile celor două termocupluri se compensează reciproc și nu afectează indicațiile aparatului care sînt liniare, în funcție de semnalul de intrare.

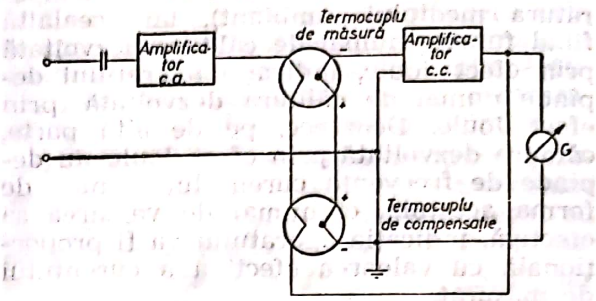


Fig. G.8. Schema de montaj a termocuplului, cu compensare a neliniarității lui.

GAMĂ DE TURAȚII. Domeniu de funcționare impus sau recomandat pentru mașini termice rotative. Principalul parametru ce caracterizează **g. de t.** îl constituie turația mașinii termice. Termenul **g. de t.** definește un interval de valori al turației mașinii.

G. de t. poate caracteriza intervale (domenii) de turații mai mari sau mai mici, în funcție de un parametru sau o caracteristică specifică. De exemplu, la motoarele cu ardere internă, **g. de t.** este aleasă pentru consum specific redus, umplere favorabilă a cilindrilor, funcționare stabilă, evitarea rezonanței în funcționarea motorului etc.

GARNITURĂ DE ETANȘARE. Element sau ansamblu de elemente, care se montează între suprafețele de îmbinare a

două piese prin care circulă un fluid, avînd rolul de a realiza sau îmbunătăți etanșarea. **G. de e.** pot fi confecționate din piele, azbest, cauciuc, carton, fibre textile, metale moi, clingherit, plută etc. Forma geometrică a **g. de e.** copiază forma flanșelor suprafețelor între care acestea se montează. În funcție de utilizare, grosimea **g. de e.** variază de la cîteva zecimi de milimetru pînă la 1—2 mm.

Garnitură de culasă. Este **g. de e.** care se montează între culasa și cilindrul (blocul de cilindrii) mașinilor termice cu piston (Fig. G.9). **G.** de culasă

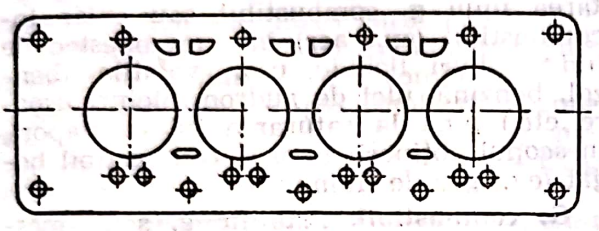


Fig. G.9. Garnitură de culasă pentru un motor cu ardere internă cu patru cilindri.

trebuie să fie rezistentă la temperaturi înalte și suficient de plastică pentru a prelua deformațiile și neregularitățile provenite din prelucrare. La motoarele cu ardere internă, **g.** de culasă este confecționată din foi de cupru și de azbest (Fig. G.10), protejate la partea aferentă

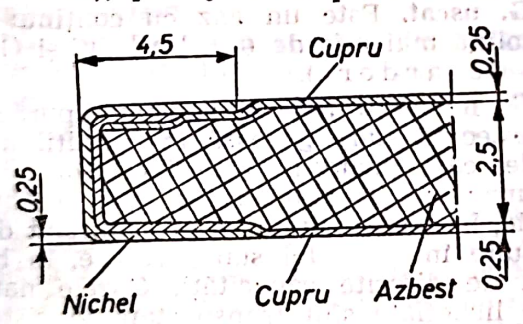


Fig. G.10. Secțiune printr-o garnitură de culasă.

camerei de ardere cu un guler din cupru. De asemenea, **g.** de culasă se mai pot confecționa din clingherit, foi subțiri de oțel moale, tablă de oțel moale cu azbest, aluminiu.

Grosimea **g.** de culasă trebuie riguros controlată, pentru menținerea raportului de comprimare al motorului.

GAZ. Corp în stare gazoasă, cu densitatea și vîscozitatea relativ mici, avînd tendința de a expanda pentru a umple vasul care-l conține. Un corp se poate afla în stare gazoasă la orice temperatură mai mare decît temperatura lui critică.

G. ideal (sau **perfect**). Este un **g.** ipotetic, căruia în baza teoriei cinetico-moleculare i se atribuie următoarele proprietăți:

— moleculele lui sînt perfect sferice și de volum neglijabil, posedă numai energie cinetică de translație, iar deplasarea lor între două ciocniri succesive este rectilinie și uniformă;

— schimbul de energie între molecule are loc în cursul ciocnirilor perfect elastice prin transmitere de impulsuri;

— distanțele dintre molecule fiind foarte mari în raport cu dimensiunile lor, forțele de interacțiune moleculare sînt neglijabile și, în consecință, energia potențială a moleculelor se consideră nulă;

— din același motiv, **g.** nu are viscozitate și nu se lichefiază, iar la temperaturi tinzînd către zero absolut, volumul lui tinde către zero;

— căldurile specifice la presiune constantă și la volum constant sînt invariabile cu presiunea și temperatura.

Ecuația termică de stare a **g.** ideal este ecuația lui Clapeyron:

$$pV = mRT,$$

în care: p este presiunea; V — volumul; R — constanta gazului; T — temperatura; m — masa gazului.

Pentru **g.** ideal sînt în vigoare legile lui Avogadro, Joules, Boyle-Mariotte, Gay Lussac, Charles.

Pentru amestecuri de **g.** ideale sînt valabile, în plus, legea lui Dalton și legea lui Amagat.

G. real. Se caracterizează prin volumul propriu (finit) al moleculelor; acestea au, pe lîngă mișcarea de translație, și mișcare de rotație în jurul axelor de simetrie ale moleculei, precum și mișcare de oscilație a atomilor în jurul pozițiilor lor de echilibru. Forțele intermoleculare nu pot fi neglijate și, în consecință, moleculele gazului real posedă pe lîngă energie cinetică și energie potențială.

În apropierea domeniului de lichefiere, unde **g.** reale poartă denumirea de *vapori*, apare și fenomenul de asociere a moleculelor în ansambluri care se comportă ca un tot unitar.

Ecuația de stare a **g.** real trebuie să conțină anumite mărimi, prin intermediul cărora să se țină seama de aceste proprietăți care îi determină comportarea complexă. Numărul mare de ecuații de stare (circa 150), elaborate pînă în prezent, arată dificultatea de a exprima analitic comportarea **g.** reale (v. Ecuație de stare).

Scanned with OKEN Scanner

Comportarea g. reale și abaterile lor de la idealitate se pot evidenția cu ajutorul diagramei $(pv)_T = f(p)$. În această diagramă, izoterma gazului ideal $(pv)_T = RT = \text{const.}$ s-ar reprezenta printr-o dreaptă orizontală.

În figura G.11 se vede, că izotermele g. real sînt curbe care în diferite

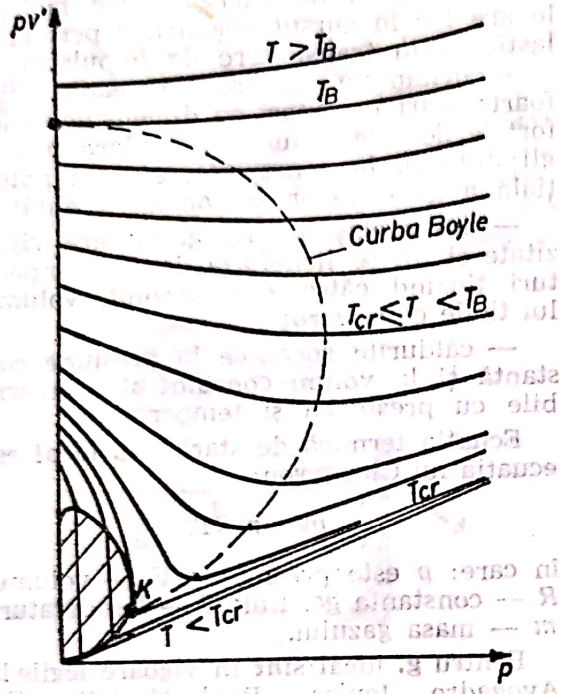


Fig. G.11. Izotermele unui gaz real.

domenii de presiuni se abat mai mult sau mai puțin de la orizontală. La presiuni mici, panta tangentei la izotermă este negativă și g. real are, în acest domeniu, o compresibilitate mai mare decît cel ideal. La presiuni mai înalte, panta izotermei g. real este pozitivă, ceea ce denotă o compresibilitate mai mică decît a gazului ideal. În jurul punctelor de minim în care panta izotermei este nulă, comportarea g. real se apropie de cea a g. ideal. Locul geometric al acestor puncte de minim este *curba Boyle (de inversiune).*

Analitic, abaterea g. real de la idealitate se poate exprima prin intermediul factorului (coeficientului) de compresibilitate *Z*.

La densități scăzute (presiuni mici sau temperaturi înalte), comportarea g. real se apropie de cea a g. ideal.

Studiul proprietăților g. reale se poate face fie exprimînd funcțiile lor termodinamice din condițiile de stare a g. real, fie utilizînd expresiile funcțiilor termodinamice ale g. ideal, adaptate prin înlocuirea presiunii cu fugacitatea.

G. inert. Este, în general, un g. care nu reacționează chimic (heliu, neon, argon, kripton, xenon, radon), în particular, g. care nu arde și nu întreține arderea. Se utilizează la stingerea incendiilor, prin izolarea flăcării (zonei de ardere) de oxigenul din aerul înconjurător. Cel mai frecvent se folosesc în acest scop bioxidul de carbon și de sulf, bromura de metil și tetraclorura de carbon. Ultima produce, prin evaporarea intensă, o mare cantitate de g. inert.

G. carburant. Este obținut prin barbotarea unui g. combustibil sau chiar incombustibil (ex.: aer) într-un amestec de hidrocarburi lichide, ușor volatile (benzol, benzină, ulei de gudron, uleiuri ușoare etc.) pînă la saturarea lui cu vapori, în scopul obținerii unui g. combustibil bogat (ex.: gaz de iluminat).

G. combustibil. Este un g. sau amestec de g. care poate arde.

Gazul combustibil tehnic este un amestec de gaze combustibile și incombustibile care conține și o serie de impurități: vapori de apă, gudron, praf etc. După modul de obținere se deosebesc: gaze naturale și gaze artificiale (de cocs, semicocs, de furnal, de gazogen etc.). Au largi întrebuințări ca materie primă și ca agent energetic.

G. uscat. Este un gaz cu conținut de gazolină mai mic de 0,16 l/m³. (v. și Gaze de ardere).

G. lichefiat. Este o substanță pură sau amestec în stare gazoasă în condiții normale, care poate fi lichefiat ușor, prin comprimare. Amestecuri de gaze combustibile, în special butan și propan, sînt distribuite în acest fel sub presiune, în butelii de diferite capacități. Gazele naturale lichefiate sînt transportate în cisterne speciale, la temperaturi scăzute, mai ales pe căile maritime. Pentru revenirea în starea gazoasă în vederea utilizării, fluidul este laminat în ventilul unui regulator de presiune.

G. natural. Este gazul care se degajă spontan sau se extrage cu mijloace corespunzătoare din zăcăminte care s-au format, asemeni celor de petrol, prin descompunerea acumulărilor de substanțe organice, sub acțiunea anumitor bacterii. Termenul se mai folosește și pentru desemnarea unor gaze asociate zăcămintelor de petrol (gaze de sondă) sau de combustibili solizi (grizu). Componentul de bază este metanul (78—99%), asociat cu diverse alte hidrocarburi gazoase (0,6—14%), hidrogen (1,4—2,7%), azot (0,3—14%), hidro-

gen sulfurat (pînă la 15%), bioxid de carbon, heliu etc.

În funcție de compoziție, poate avea densitatea cuprinsă între 0,58 și 0,918 kg/m^3 și puterea calorică, între 39 000 și 45 000 kJ/m^3_N.

Înainte de distribuire, unii componenți nedoriți sînt îndepărtați (azot, hidrogen sulfurat, heliu).

Se transportă prin conducte cu diametrul de pînă la 900 mm, la presiuni de pînă la 70 bar sau, lichefiat, în cisterne.

Întrucît este inodor, pentru recunoaștere ușoară este amestecat cu mercaptani, care-i conferă un miros caracteristic.

Are multiple utilizări în industria chimică și în calitate de gaz combustibil.

G. metan. Este un gaz combustibil conținînd în proporție de pînă la 99% metan, de exemplu: 97,15% CH_4, 2,1% CO_2, 0,15% O_2, 0,6% N_2.

G. de generator. Este gazul rezultat din procesul de gazeificare (v. Gazeificare).

G. de ardere. Sînt gaze rezultate din arderea unui combustibil (carburant) în prezența unui oxidant (comburant).

Compoziția chimică și temperatura lor la sfîrșitul arderii depind de compoziția combustibilului și a oxidantului, de condițiile inițiale de presiune și temperatură, precum și de modul de desfășurare a reacțiilor chimice.

Oxidantul este, în general, fie oxigen, fie aer (eventual îmbogățit în oxigen) sau, în unele cazuri, o altă substanță care conține oxigenul (peroxid de hidrogen, acid azotic, tetranitrometan etc.).

Substanțele inerte (v. și Gaz inert) existente în compoziția combustibilului sau a oxidantului se regăsesc intacte (în cantități nemodificate) în g. de ardere.

Dacă variația parametrilor de stare în timpul arderii este suficient de lentă, compoziția gazelor de ardere este cea de echilibru, corespunzătoare presiunii și temperaturii de la sfîrșitul arderii.

Cînd presiunea și temperatura variază rapid, cu o viteză mai mare decît cea de stabilire a echilibrului chimic (de exemplu, în cilindrii motoarelor cu ardere internă), compoziția g. de ardere rămîne în urmă (compoziție înghețată), adică va corespunde altor condiții decît cele de la sfîrșitul arderii.

Întrucît combustibilii conțin, în general, carbon, hidrogen, sulf sau compuși ai acestora, în cazul arderii complete, fără disociere, g. de ardere vor fi alcătuite din: bioxid de carbon, apă (în stare de vapori), bioxid de sulf, azot și oxigen în exces. Particulele de carbon în suspensie (funingine) sau urmele de hidrocarburi, ca și monoxidul de carbon, provin, în cazul arderii fără disociere, din oxidarea incompletă care poate avea loc, chiar în condițiile unui exces de aer, datorită contactului mai dificil de realizat între particulele de combustibil și oxigenul din aer.

Odată cu creșterea temperaturii, echilibrul se modifică în sensul încurajării reacțiilor exotermice, de disociere. Ele apar la temperaturi de peste 800°C și duc la formarea oxidului de carbon, a radicalului OH, a oxidului de azot etc.

Calculul compoziției gazelor rezultate din arderea fără disociere, a unui combustibil dat, nu ridică probleme deosebite. În schimb, la temperaturi înalte, unde trebuie luate în considerare și procesele de disociere, situația se complică, necesitînd utilizarea unor metode de calcul aproximativ.

Pentru determinarea experimentală a compoziției gazelor de ardere, se utilizează diverse metode și aparate. (v. Analizor de gaze.)

Controlul compoziției gazelor de ardere constituie o problemă de mare actualitate care se înscrie în contextul efortului general de combatere a poluării mediului ambiant.

G. de ardere uscate sînt gazele de ardere din care s-a îndepărtat apa.

G. reziduale sînt gaze de ardere rămase în cilindrul unui motor cu ardere internă, după închiderea supapei de evacuare. Odată cu creșterea ponderii lor în amestecul existent în cilindru la începutul comprimării, crește temperatura amestecului și scade coeficientul de umplere.

G. de evacuare sînt, în general, gaze de ardere de la evacuarea din spațiul în care s-a desfășurat arderea.

G. recirculate sînt gaze de ardere prelevate din conducta de evacuare și introduse în canalul de admisie, de unde revin în spațiul destinat arderii, împreună cu încărcătura proaspătă (Fig. G.12).

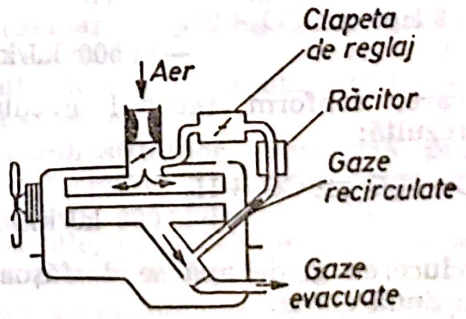


Fig. G.12. Sistem de recirculare a gazelor la un motor cu ardere internă.

Scanned with OKEN Scanner

G. de ardere recirculate acționează, datorită diluării amestecului proaspăt cu substanțe (gaze) inerte, în sensul scăderii vitezei de ardere și, prin aceasta, a temperaturii de ardere, ceea ce conduce la scăderea gradului de disociere, și astfel, la micșorarea concentrației oxidului de azot în g. de evacuare.

Utilizarea metodei este limitată de efectele ei nefavorabile asupra randamentului (consumului specific) și a puterii motorului.

În mod curent, la motoarele cu ardere internă se utilizează un alt gen de recirculare, și anume, a g. scăpate în carter, pe lîngă piston și segmenți, gaze care conțin într-o proporție însemnată substanțe combustibile care altfel s-ar pierde (în atmosferă).

G. bogat. Este un g. petrolier cu conținut ridicat de hidrocarburi lichide (peste 100 g gazolină/m^3_N).

G. bogat se poate defini și drept un combustibil gazos cu puterea calorifică peste 6 000 kJ/m^3_N (ex.: g. de apă; g. metan).

G. de apă. Este un combustibil gazos artificial, cu o compoziție medie volumetrică: H_2=50%; CO=40%; CH_4=0,5%; CO_2=4,5%; N_2=5%; densitatea 0,71 kg/m^3_N; puterea calorifică superioară H_s=11 300 ... 13 000 kJ/m^3_N și inferioară H_i=10 380 ... 11 770 kJ/m^3_N; temperatura calorimetrică (teoretică) de ardere 2 210°C.

Se obține în gazogen prin disocierea termică a apei în stare de vapori în contact cu cărbuni la temperaturi peste 1000°C. Agentul de gazeificare este format din aer care servește drept oxidant pentru obținerea temperaturilor ridicate de ardere și a CO_2 și din apă disociată, conform reacțiilor endoterme:

$$C+H_2O \rightleftarrows CO+H_2 \quad -117\,650 \text{ kJ/kmolC};$$

$$C+2H_2O \rightleftarrows CO_2+2H_2 \quad -74\,500 \text{ kJ/kmolC};$$

din care, conform reacției gazului de apă, rezultă:

$$CO+H_2O \rightleftarrows CO_2+H_2 \quad \pm 43\,000 \text{ kJ/kmol}.$$

Producerea g. de apă se desfășoară ciclic în două etape:

În prima etapă, se introduce aer de combustie, cărbunii oxidîndu-se parțial, căldura reacției de ardere servind la creșterea temperaturii. În etapa a doua, se introduc vapori de apă saturați sau supraîncălziți, avînd loc reacțiile endoterme care conduc la reducerea temperaturii și produc g. de apă. La o temperatură minimă, dictată de condițiile de echilibru termic, reacțiile încetează și ciclul este reluat. Cărbunii eficienți la producerea g. de apă sînt cei săraci în materii volatile, cum sînt: cocsul, semicocsul, antracitul și huilele antracite. Cărbunii cu un conținut ridicat de materii volatile necesită degazarea lor prealabilă. Consumurile teoretice sînt de 1,15 kg H_2O/kgC și 2 m^3_N aer/kgC, rezultînd o producție de 2,88 m^3_N gaz/kgC.

Este utilizat ca materie primă în industria de sinteză a amoniacului datorită conținutului ridicat de H_2.

G. de cocserie. Este un combustibil gazos artificial, cu compoziția volumetrică: H_2=50,8%; CO=5,4%; CH_4=26,5%; CO_2=2,3%; H_2O=0,4%; N_2=11,9%; O_2=1,0%; densitatea 0,535 kg/m^3_N; puterea calorifică superioară H_s=16 900 kJ/m^3_N și inferioară H_i=16 663 kJ/m^3_N; temperatura calorimetrică (teoretică) de ardere 2070°C.

Se obține în procesul de cocsificare a cărbunilor. G. de cocserie brut reprezintă un amestec format din gaze (hidrogen, metan, etan, etilenă, propilenă, bioxid și oxid de carbon, azot etc.), vapori de apă, hidrocarburi și derivați solizi și lichizi la temperatura mediului ambiant (gudroane, smoală, uleiuri, benzen, naftalină), compuși cu sulf (hidrogen sulfurat), compuși cu azot (amoniac, acid cianhidric, oxizi) și praf antrenat.

Pentru utilizare, în prealabil, este epurat pentru reținerea gudroanelor și a amoniacului. Gradul de puritate (după epurare) depinde de utilizarea ulterioară epurării; este mai înalt în cazul utilizării ca materie primă în industria chimică decît în cazul utilizării drept combustibil pentru utilizări casnice. Este necesară, în orice caz, îndepărtarea totală a componenților toxici. Epurarea se face prin diverse procedee: condensarea prin răcire a anumitor componenți, adsorbție și absorbție pentru alți componenți. Compoziția gazului variază în funcție de conținutul de materii volatile al cărbunilor utilizați și de temperatura de cocsificare. La temperaturi medii, rezultă gaze mai bogate în hidrocarburi, la temperaturi ridicate de cocsificare, gaze mai bogate în hidrogen.

Scanned with OKEN Scanner

Alte caracteristici ale g. de cocserie sînt: viteza de propagare a flacării 70—75 cm/sec; temperatura de aprindere 600—650°C; arde cu flacără luminoasă radiantă (în cazul prezenței în compoziție a benzenului).

Se utilizează drept combustibil la încălzirea bateriilor de cocsificare, la cuptoarele Martin și la cuptoarele adînci pentru lingouri. Comprimat în butelii, poate fi folosit drept combustibil pentru motoare cu ardere internă, conținînd CO= 90 ... 95%.

G. de furnal. Este un g. combustibil rezultat ca produs secundar în furnal. Are următoarele caracteristici volumetrice medii: H_2=3,3%; CO=27,4%; CH_4= =0,9%; CO_2=10%; N_2=58,4%; densitatea 1,28 kg/m^3_N; puterea calorifică inferioară H_i=4 174 kJ/m^3_N; temperatura calorimetrică (teoretică) de ardere 1 487°C. Se utilizează drept combustibil în cadrul combinatelor siderurgice la bateriile de cocsificare, la încălzirea cauperelor, la turbinele turbosuflantelor de aer pentru furnale, la cazanele de abur.

Înainte de utilizare, necesită o epurare pentru reținerea prafului antrenat.

G. de iluminat. Este un combustibil gazos artificial. Caracteristicile volumetrice medii sînt variabile în limitele: H_2= =50%; CH_4=20 ... 32,5%; CO=7 ... 17%; CO_2=2 ... 3%; N_2=5 ... 10%; O_2=0,5%; alte hidrocarburi 2 ... 3,5%; puterea calorifică în limitele 18 200—23 400 kJ/m^3_N.

Se obține prin distilarea uscată, la temperaturi ridicate (900—1 300°C), a cărbunilor bogați în materii volatile, de exemplu huile. Se utilizează în amestec cu g. de apă cu puterea calorifică redusă la 18 000 kJ/m^3_N, în rețeaua de gaze a orașelor, pentru încălzit și iluminat.

G. de oraș. Este un combustibil gazos artificial. Compoziția este variabilă în funcție de modul de fabricație. În general, se produce prin cocsificarea huilelor și se utilizează ca atare sau în amestec cu g. de apă sau cu g. de gazogen pentru reducerea puterii calorifice. Pentru reducerea toxicității, în vederea utilizării casnice, conținutul de CO este 1% sau chiar mai redus. Are puterea calorifică cuprinsă între 15 000 și 187 000 kJ/m^3_N.

G. de oraș se poate defini și ca amestec de gaze combustibile livrate rețelelor de consum casnic (ex.: gazul metan sau gazele de rafinărie).

G. de sinteză. Este un g. combustibil format din CO și H_2 (peste 85%), utilizat la fabricarea combustibililor lichizi și a amoniacului.

Se obține din gaz de apă, supus unor reacții de îmbogățire în hidrogen, prin reacția de conversie:

$$CO+H_2O \rightleftarrows H_2+CO_2$$

și prin adăugare de hidrogen obținut din hidrocarburi gazoase. Rezultă direct în gazogene cu funcționare continuă pentru obținerea gazului de apă din cărbune brun.

Are următoarele caracteristici volumetrice medii: H_2=56%; CO=28%, CO_2= 13,9%; CH_4=1,3%; N_2=0,8%; densitatea 0,7 kg/m^3_N; puterea calorifică superioară H_s=11 210 kJ/m^3_N; putere calorifică inferioară H_i=10 030 kJ/m^3_N.

G. de sinteză poate fi definit și ca un amestec de gaze, format din CO, H_2 și N_2, produs intermediar în sinteza amoniacului. Se obține prin cracarea gazului metan.

G. de sondă. Amestec de hidrocarburi gazoase la presiunea atmosferică, în majoritate formate din CH_4, C_2H_6, C_3H_8, C_4H_{10}, extrase prin sonde din zăcăminte de țiței sau de gaze. Are compoziția variabilă, în funcție de zăcămînt și de presiunea și temperatura la care se face separarea de faza lichidă. Din g. de sondă se extrage gazolina, iar gazele rezultate după degazolinare se utilizează drept combustibili în parcuri petroliere, în gazeificare, sau se comercializează sub formă de gaze petroliere lichefiate (aragaz).

G. sărac. Este un g. petrolier, rezultat după operația de gazeificare, cu conținut redus de hidrocarburi lichide (sub 60 g gazolină/m^3_N).

G. sărac se poate defini și drept un combustibil gazos cu putere calorifică sub 4 000—5 000 kJ/m^3_N (ex.: g. de furnal).

GAZEIFICARE. Transformare în gaz a unui lichid sau a unui solid. La vaporizare, respectiv sublimare, transformarea se produce printr-o schimbare de stare de agregare, pe cînd g. cuprinde și procesele în care, în urma unei reacții chimice (oxidare, cracare, pirogenare etc.), gazul rezultat are o compoziție chimică deosebită de cea a lichidului sau a solidului din care provine.

G. combustibililor reprezintă procesul de transformare a masei organice din combustibili în general solizi în gaze combustibile, provocat de acțiunea termochimică a unui agent de g.

Materiile prime folosite la g. sînt combustibilii naturali sau artificiali, de exemplu: lemnul, turba, cărbunii, semicocsul, păcura, deșeurile vegetale etc.

Scanned with OKEN Scanner

Agentul de g. este totdeauna oxigenul liber sau legat, adică aerul, vaporii de apă sau amestecuri ale acestora, oxigenul singur în amestec cu vapori de apă, aerul îmbogățit cu oxigen etc. După natura agentului de g., se pot produce: gaz de aer, gaz de apă, gaz mixt, gaz de sinteză etc.; aceste gaze sînt numite, în general, gaze de generator.

În g. cu aerul atmosferic se obține gazul de aer; reacția principală este $2C+O_2+3{,}76N_2=2CO+3{,}76N_2+248\,600$ kJ. Oxidul de carbon rezultat formează baza combustibilă a gazului, cu puterea calorifică de 12 000 kJ/m^3_N. Agentul de g. — aerul — conține o cantitate mare de azot, care, nefiind reactiv, produce doar o diluare a gazelor combustibile rezultate din g.

În g. cu vapori de apă se obține gazul de apă; reacțiile principale sînt:

$$C+H_2O\rightleftarrows CO+H_2 - 117\,600 \text{ kJ}$$ și

$$C+2H_2O\rightleftarrows CO_2+2H_2 - 74\,500 \text{ kJ}.$$

Oxidul de carbon și hidrogenul, rezultate, formează baza combustibilă a gazului, cu o putere calorifică superioară de 24 000—26 000 kJ/m^3_N. În g. cu vapori de apă a combustibililor bogați în materii volatile se obține gazul dublu. Acesta este un gaz de apă care conține și materii volatile din combustibil și, deci, are o putere calorifică mărită, pînă la 30 000 kJ/m^3_N.

În g. cu insuflare simultană de aer și vapori de apă, se obține gazul mixt; reacțiile principale sînt:

$$2C+O_2+3{,}76N_2\rightleftarrows 2CO+3{,}76N_2+248\,600 \text{ kJ}$$ și

$$C+H_2O\rightleftarrows CO+H_2-117.600 \text{ kJ}.$$

Puterea calorifică superioară a gazului mixt este de 5 000—5 500 kJ/m^3_N. La procedeul de g. pentru obținerea gazului mixt pot fi utilizați combustibili care nu pot fi folosiți în celelalte procedee de g., aerul din agentul de insuflare conducînd la o creștere apreciabilă a puterii calorifice. În afara procedeelor de g. descrise, există și alte procedee (g. sub presiune, g. în pat fluidizat, g. cu evacuarea zgurii lichide).

G. sub presiune. Se execută la circa 20 bar, presiune la care se produc reacții ce conduc la formarea unei cantități mari de metan:

$$CO+3H_2\rightleftarrows CH_4+H_2O+192\,000 \text{ kJ}.$$

După eliminarea CO_2, prin spălare sub presiune, rezultă un gaz cu putere calorifică de 16 000—17 000 kJ/m^3_N, care poate fi transportat la distanță. Avantajele acestui procedeu, față de g. cu abur și oxigen la presiunea atmosferică, sînt: intensificarea procesului de g.: posibilitatea conducerii procesului la temperaturi relativ joase (900—1 000°C), ceea ce conduce sificarea procesului de g.; posibilitatea recuperării unor gudroane care echivalează calitativ cu gudroanele de semicarbonizare; reducerea consumului specific de oxigen; posibilitatea folosirii cărbunilor de calitate inferioară.

G. în pat fluidizat (pat fierbător) sau **în suspensie.** La acest procedeu de g., datorită insuflării puternice a agentului de g., combustibilul este ridicat și ținut în „fierbere" și, respectiv, în „suspensie". Aceste procedee permit un contact mai intim între agentul de g. și combustibil, mărindu-se intensitatea de 4—5 ori. Puterea calorifică superioară a gazului este de 5 000—5 600 kJ/m^3_N. Este un procedeu de gazeificare cu particule în mișcare, folosit în cazul combustibililor cu granulație mică.

G. cu evacuarea zgurii lichide. Se efectuează prin menținerea unei temperaturi înalte (1 600—1 700)°C în zona de evacuare, astfel încît zgura se extrage în stare lichidă. Acest procedeu mărește mult solicitarea gazogenului, ridicînd astfel indicele lui de utilizare. De asemenea, ca produs secundar, se pot obține fonte, feroaliaje sau materiale de construcție.

După sensul curentului agentului de g. din generator, procesul de g. poate avea loc în curent ascendent, descendent sau transversal.

Indicii de g. sînt mărimi caracteristice referitoare la compoziția gazelor; puterea calorifică, randamentul termic al gazului etc. sînt valori obținute prin determinări experimentale sau prin calcul. Aceștia caracterizează modul în care decurge procesul de g. și sînt proprii unui anumit sort de combustibil, variind în funcție de natura gazului produs precum și de instalația respectivă. Totuși, se pot da indici medii pentru fabricarea gazului de gazogen, a gazului de apă și gazului mixt, ținînd seamă numai de natura gazului și de caracteristicile combustibilului gazeificat.

O altă definiție a g., specifică *industriei petroliere*, este: procesul în urma căruia un lichid se găsește amestecat cu un gaz, eventual cu vaporii proprii, dispersat în diferite grade de dispersie și diluare, ajungînd pînă la „spumă" sau chiar la „ceață". El este întîlnit în tehnologia extracției țițeiului prin erupția naturală sau

Scanned with OKEN Scanner

artificială. Acest tip de g. se produce și în zăcămintele de țiței, datorită ieșirii gazelor din soluție la scăderea presiunii în cursul exploatării zăcămîntului și, cu excepția unei scurte perioade i. e., deși generează energie, teoretic suficientă dezlocuirii și drenării țițeiului, constituie în același timp o cauză de cheltuire fără efect util a majorității acestei energii, prin micșorarea sau suprimarea permeabilității efective față de țiței și prin strecurarea gazelor înaintea acestuia. **G.** se produce în sondele de extracție a țițeiului, în cursul ascensiunii, la scăderea presiunii ca urmare a cheltuirii de energie potențială, a frecărilor și strecurărilor prin roca poroasă, constituind în acest caz atît un generator de energie de ascensiune, cît și cauza cheltuirii fără efect util a unei părți din această energie. **G.** se produce și în noroiul de săpare a sondelor (fluidul de foraj) atît datorită ieșirii gazelor din soluție din faza apoasă a noroiului ori desorbției de pe solidele noroiului, cît și prin antrenarea gazelor eliberate din porii rocii sfărîmate de sapă sau, în special, a celor degajate dintr-un strat petrolier sau gazeifer, la menținerea unei contrapresiuni incoerente asupra stratului. Aceasta provoacă, prin micșorarea densității noroiului, o micșorare a presiunii asupra stratului, ceea ce conduce la o nouă degajare de gaze din strat și la creșterea volumului celor prezente din noroi, adică la o amplificare a **g.** și, în final, la o erupție liberă, accident deosebit de grav.

GAZODINAMICĂ (Sin.: **Termogazodinamică**). Domeniu de studiu care analizează mișcarea gazelor, luînd în considerare și efectele termice generate în timpul mișcării. **G.** utilizează noțiuni, mărimi, relații și principii atît din mecanica fluidelor, cît și din termodinamică. Ea diferă de aerodinamică prin aceea că ține seama de variația energiei potențiale a gazelor. Studiile gazodinamice sînt denumite, în funcție de aspectele ce se urmăresc: aerotermodinamică, aerotermochimie, dinamica gazelor, curgerea fluidelor compresibile, aerodinamică supersonică, magnetogazodinamică etc. De exemplu, magnetogazodinamica include în studiile gazodinamice efectele datorate magnetismului și electricității, aplicate în special în domeniul rachetelor și astrofizicii.

G. tratează mișcarea mediilor gazoase continue și nu se ocupă de comportarea individuală a particulelor (atomi sau molecule) ce alcătuiesc gazul. Din acest punct de vedere, domeniul de aplicabilitate al ecuațiilor **g.** poate fi precizat cu ajutorul numărului lui Knudsen (Kn) care este definit ca raportul dintre parcursul liber mijlociu al moleculelor și o lungime caracteristică și care caracterizează regimurile curgerii continue și libere a moleculelor (v. Knudsen, număr). Pentru $Kn=0{,}01$ sînt, de obicei, valabile ecuațiile **g.** continue, iar pentru $Kn\geqslant 10$ curgerile gazelor pot fi descrise de ecuația lui Boltzmann.

Relațiile fundamentale ale **g.** pot fi deduse cu ajutorul principiilor de conservare ale mecanicii și principiul I al termodinamicii. De regulă, ele se exprimă, sub formă diferențială Euler, în raport cu parametrii gazului care intră și iese dintr-un element de volum fix în cîmpul curgerii, prin: ecuația continuității, ecuațiile de mișcare Navier-Stokes și ecuația energiei.

Ecuația continuității (conservarea masei) poate fi prezentată vectorial sub forma:

$$\nabla\cdot(\rho\vec{w})+\frac{\partial\rho}{\partial t}=0. \qquad (1)$$

Ecuația (1) redă aspectul global al conservării masei într-un element de volum de gaz în curgere, primul termen definind variația debitului masic față de coordonate spațiale, iar cel de-al doilea, variația în timp.

Dacă curgerea are loc în regim permanent $\left(\frac{\partial\rho}{\partial t}=0\right)$, ecuația continuității se reduce la:

$$\nabla\cdot(\rho\vec{w})=0, \qquad (1.a)$$

iar dacă fluidul este și incompresibil ($\rho=\text{const}$):

$$\nabla\cdot\vec{w}=0. \qquad (1.b)$$

Dacă gazul suferă schimbări chimice, concentrațiile specifice se modifică și afectează distribuția spațială a energiei fiecărei specii, avînd viteza particulară w_i. Ecuația continuității se poate corela nu cu aspectul global al conservării masei, ci cu conservarea speciilor componente, luînd în considerare viteza de schimbare a fiecărei specii sau component și fiind exprimată sub forma:

$$\frac{\partial n_i}{\partial t}+\nabla\cdot(n_i\cdot w_i)=V_i, \qquad (1.c)$$

unde: n_i este numărul de particule ale componentului i; w_i — viteza particulelor i; V_i — debitul de particule i produs.

Ecuația (1c) însumată pentru toate particulele sistemului macrofizic considerat

conduce la ecuația continuității (1) în forma globală. În funcție de necesitățile de studiu existente, ecuația continuității se poate utiliza sub formă scalară, exprimînd mărimile vectoriale prin componentele lor în raport cu un sistem de axe de coordonate (cartezian, cilindric, polar etc.):

— în coordonate carteziene rectangulare (x, y, z):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(\rho w_x)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho w_y)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho w_z)=0; \quad (1')$$

— în coordonate cilindrice (r, θ, z):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(\rho r w_r)+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial \theta}(\rho w_\theta)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho w_z)=0; \quad (1'')$$

— în coordonate sferice (r, θ, φ):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}(\rho r^2 w_r)+\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial \theta}(\rho w_\theta \sin\theta)+\frac{1}{r\sin\varphi}\frac{\partial}{\partial \varphi}(\rho w_\varphi)=0. \quad (1''')$$

În studiile gazodinamice aplicate mașinilor rotative și reactive, curgerea se consideră unidirecțională, presupunînd că proprietățile gazului variază numai în direcția de curgere. Astfel, ecuația continuității (1.a) pentru un regim de curgere staționar se poate integra și prezenta sub forma:

$$\rho A w=\text{constant}=\dot{m}, \quad (1d)$$

unde A este aria secțiunii de curgere iar m — debitul masic de gaz.

Ecuațiile de mișcare se deduc din teoremele impulsului și momentului cantității de mișcare:

$$\left\{\begin{array}{l}\text{variația în}\\ \text{timp a canti-}\\ \text{tății de miș-}\\ \text{care}\end{array}\right\}=\left\{\begin{array}{l}\text{forța rezultantă}\\ \text{ce acționează}\\ \text{asupra sis-}\\ \text{temului}\end{array}\right.$$

$$\left\{\begin{array}{l}\text{variația în}\\ \text{timp a}\\ \text{momentului de}\\ \text{mișcare}\end{array}\right\}=\left\{\begin{array}{l}\text{momentul re-}\\ \text{zultant al}\\ \text{forțelor}\\ \text{exterioare}\end{array}\right.$$

În forma generală, relațiile specifice de conservare trebuie să ia în considerare și efectele forțelor de frecare și de cîmp (gravitaționale, magnetice și altele posibile). Sub formă vectorială ecuațiile de mișcare se exprimă prin:

$$\frac{D\vec{w}}{Dt}=-\frac{1}{\rho}\nabla\vec{p}+\nu\cdot\nabla^2\vec{w}+\frac{\nu}{3}\nabla(\nabla\cdot\vec{w})+\sum_{j=1}^{N}\vec{F}_j, \quad (2)$$

unde: $\vec{w}$ reprezintă vectorul viteză de curgere; ρ — densitatea fluidului; $\vec{p}$ — presiunea în cîmpul curgerii; ν — vîscozitatea cinematică; t — timpul; $\vec{F}$ — forțe exterioare; D/Dt — operator diferențial; $D/Dt=(\partial/\partial t)+w\cdot\nabla$. În ecuația (2), primul termen din dreapta exprimă acțiunea forțelor exercitate asupra fluidului la granițele volumului de control, al doilea și al treilea, forțele de vîscozitate, iar ultimul, suma forțelor de natură gravitațională, electrică și magnetică.

Apelînd la diferite sisteme de axe de coordonate, ecuația de mișcare (2) se poate prezenta sub formele:

— în coordonate carteziene rectangulare (x; y; z);

— pe direcția x:

$$\frac{dw_x}{dt}=f_x-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{1}{3}\nu\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial w_x}{\partial x}+\frac{\partial w_y}{\partial y}+\frac{\partial w_z}{\partial z}\right)+\nu\left(\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2}\right); \quad (2a')$$

— pe direcția y:

$$\frac{dw_y}{dt}=f_y-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{1}{3}\nu\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial w_x}{\partial x}+\frac{\partial w_y}{\partial y}+\frac{\partial w_z}{\partial z}\right)+\nu\left(\frac{\partial^2 w_y}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w_y}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w_y}{\partial z^2}\right); \quad (2a'')$$

— pe direcția z:

$$\frac{\partial w_z}{\partial t}=f_z-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}+\frac{1}{3}\nu\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial w_x}{\partial x}+\frac{\partial w_y}{\partial y}+\frac{\partial w_z}{\partial z}\right)+\nu\left(\frac{\partial^2 w_z}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w_z}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2}\right); \quad (2a''')$$

— în coordonate cilindrice (r; θ; z):

— pe direcția r:

$$\frac{\partial w_r}{\partial t}+w_r\frac{\partial w_r}{\partial r}+\frac{w_\theta}{r}\cdot\frac{\partial w_r}{\partial \theta}+w_z\frac{\partial w_r}{\partial z}-\frac{w^2}{r}=f_r-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial r}+\frac{1}{3}\nu\frac{\partial}{\partial r}\left[\frac{1}{r}\frac{\partial(r w_r)}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial w_\theta}{\partial \theta}+\frac{\partial w_u}{\partial z}\right]+\nu\left(\frac{\partial^2 w_r}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial w_r}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 w_r}{\partial \theta^2}+\frac{\partial^2 w_r}{\partial z}-\frac{w_r}{r^2}-\frac{2}{r^2}\frac{\partial w_\theta}{\partial \theta}\right); \quad (2b')$$

Scanned with OKEN Scanner

— pe direcţia θ:

$$\frac{\partial w_\theta}{\partial t}+w_r\frac{\partial w_\theta}{\partial r}+\frac{w}{r}\frac{\partial w_\theta}{\partial \theta}+w_z\frac{\partial w_\theta}{\partial z}+$$
$$+\frac{w_r w_\theta}{r}=f_\theta-\frac{1}{\rho r}\frac{\partial p}{\partial \theta}+\frac{1}{3}\frac{\nu}{r}\frac{\partial}{\partial \theta}\left[\frac{1}{r}\frac{\partial(rw_r)}{\rho r}+\right.$$
$$\left.+\frac{1}{r}\frac{\partial w_\theta}{\partial \theta}+\frac{\partial w_z}{\partial z}\right]+\left(\frac{\partial^2 w_\theta}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial w_\theta}{\partial r}+\right.$$
$$\left.+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 w_\theta}{\partial \theta^2}+\frac{\partial^2 w_\theta}{\partial z^2}+\frac{2}{r^2}\frac{\partial w_\theta}{\partial \theta}-\frac{w_\theta}{r^2}\right); \quad (2b'')$$

— pe direcţia z:

$$\frac{\partial w_z}{\partial t}+w_z\frac{\partial w_z}{\partial r}+\frac{w_\theta}{r}\frac{\partial w_z}{\partial \theta}+w_z\frac{\partial w_z}{\partial z}=f_z-$$
$$-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}+\frac{1}{3}\nu\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{1}{r}\frac{\partial(rw_r)}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial w_\theta}{\partial \theta}+\right.$$
$$\left.+\frac{\partial w_u}{\partial z}\right]+\nu\left(\frac{\partial^2 w_z}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial w_z}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 w_z}{\partial t^2}+\right.$$
$$\left.+\frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2}\right). \quad (2b''')$$

În studiile gazodinamice în care efectele de natură electrică şi magnetică se pot neglija, iar efectele acceleraţiei, inerţiei, presiunei şi vîscozităţii sînt prezente, ecuaţiile de mişcare utilizate sînt denumite ecuaţiile Navier-Stokes. O soluţie generală pentru ecuaţiile Navier-Stokes nu s-a găsit pînă în prezent, dar există o serie de soluţii particulare stabilite cu ipoteze simplificatoare. De exemplu, excluzînd şi efectul vîscozităţii, ecuaţia (2) se poate utiliza sub forma:

$$\vec{Dw}/Dt=-\frac{1}{\rho}\vec{\nabla p} \quad (2d)$$

sau pentru o curgere unidimensională:

$$\frac{\vec{dp}}{\rho}+\vec{w}\vec{dw}=0 \quad (2e)$$

În cazul fluidelor incompresibile ($\rho=$ const) prin integrarea ecuaţiei (2e), se ajunge la ecuaţia lui Bernoulli:

$$p+\frac{\rho w^2}{2}=\text{const.}$$

Ecuaţia energiei exprimă principiul conservării energiei aplicat la curgerea gazelor (primul principiu al termodinamicii în cazul sistemelor termodinamice deschise). Există un număr mare de forme echivalente sub care se exprimă această ecuaţie, diferenţele între ele constînd în relaţiile subsidiare termodinamice la care se apelează pentru exprimarea unei variabile de stare în funcţie de alta ($p=\rho RT$ pentru gaz perfect, $pv^k=$const. pentru procese izentropice ş.a.). Într-o formă generală, ecuaţia energiei se poate prezenta:

$$\underbrace{\rho\frac{D\left(u+\frac{1}{2}w^2\right)}{Dt}}_{\text{variaţia energiei interne şi energiei cinetice}}=\underbrace{-\nabla\cdot\vec{q}}_{\text{schimbul de căldură cu exteriorul la limitele sistemului}}+\underbrace{\nabla\cdot\vec{p}\cdot\vec{w}}_{\text{schimbul de energie datorat forţelor de presiune}}+\underbrace{\rho\sum_{j=1}^{N}\vec{F}_j\cdot\vec{w}}_{\text{schimbul de lucru mecanic exterior datorat forţelor externe}}+\underbrace{\sum_{m=1}^{M}Q_m}_{\text{schimburi de energie ca cele generate de disiparea vîscozităţii, de conducţia electrică, de transferul radioactiv de căldură şi energie electromagnetică}} \quad (3')$$

sau sub forma:

$$\rho\frac{Du}{Dt}=-\vec{\nabla q}+\vec{p}\cdot\vec{\nabla w}+\vec{\nabla w}:\vec{\tau}+\Phi \quad (3'')$$

unde: u este energia internă a sistemului considerat; $\vec{q}$ — fluxul de căldură pe unitatea de volum; $\vec{\nabla w}:\tau$ — termen ce redă disiparea vîscoasă a căldurii (respectiv variaţia lucrului mecanic ireversibil pe unitatea de volum); Φ — energia generată sub formă de căldură prin efect electromagnetic sau rezistiv (surse interne suplimentare de căldură).

Exprimînd transferul de căldură pe o direcţie oarecare cu ajutorul legii lui Fourier ($q=-k\nabla T$) şi energia internă în raport cu entalpia fluidului (u $i-p/\rho$, calculată ca o funcţie de stare de tempera-

Scanned with OKEN Scanner

turi și temperatură $[i=i(T,p)]$, se poate prezenta ecuația energiei și sub forma:

$$\underbrace{\rho c_p \cdot \frac{DT}{Dt}}_{\substack{\text{transferul}\\ \text{convectiv}\\ \text{al căldurii}}} = \underbrace{\nabla\cdot(k\nabla T)}_{\substack{\text{transferul}\\ \text{conductiv}\\ \text{al căldurii}}} \pm \underbrace{T\beta\frac{Dp}{Dt}}_{\substack{\text{căldura}\\ \text{adițională}\\ \text{de comprimare (+)}\\ \text{sau de dilatare (—)}\\ \text{(lucru mecanic}\\ \text{reversibil)}}} + \underbrace{\nabla\vec{w}:\vec{\tau}}_{\substack{\text{disiparea}\\ \text{vîscoasă a}\\ \text{energiei}\\ \text{(lucrul}\\ \text{mecanic}\\ \text{ireversibil)}}} \pm \underbrace{\Phi}_{\substack{\text{surse suplimentare}\\ \text{de căldură: radiație electromagnetică;}\\ \text{încălzire electrică}\\ \text{(emisie —; absorbție +)}}} \qquad (3''')$$

unde:

$$\beta = -\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial\rho}{\partial T}\right)_p.$$

Observație: Pentru a se forma o idee asupra ponderii diferiților termeni din ecuația energiei, se va estima ordinul de mărime asociat ultimilor termeni din membrul drept al ecuației (3'''):

— Ordinul de mărime al termenului de disipare vîscoasă. Considerînd curgerea printr-o conductă de diametru d într-o direcție oarecare z, rezultă că $\nabla\vec{w}:\vec{\tau}|_z = \mu(\partial w_z/\partial R)^2$ are ordinul de mărime $[\mu<w_z^2>d^2]$. Din ecuația (3''') ordinul de mărime al termenului DT/Dt în direcția z este:

$$[\nabla\vec{w}:\vec{\tau}/\rho c_p] = [\mu<w_z^2>/\rho c_p d^2]$$

Dar $DT/Dt|_z = w_z\,\partial T/\partial Z$

deci:

$$\left[\frac{\partial T}{\partial Z}\right]_{\substack{\text{disipare}\\ \text{vîscoasă}\\ \text{de tempe-}\\ \text{ratură în}\\ \text{direcția z}}} =$$

$$= [\mu<w_z>/\rho c_p d^2] = [\mathrm{Re}\,\nu^2/c_p d^3];$$

De exemplu: pentru aer: $\nu=0{,}2$ cm^2/s; $d=20\ldots80$ mm; $c_p=0{,}2$ cal/g°C

$$\left[\frac{\partial T}{\partial Z}\right]_{\substack{\text{disipare}\\ \text{vîscoasă}}} = [10^{-9}\ \mathrm{Re}]\ \text{°C/cm}.$$

Se observă că efectul este neglijabil pentru curgeri cu numere Re mici.

— Ordinul de mărime al termenului reversibil (căldura adițională prin compresie):

$$[DT/Dt] = [T\beta(DP/Dt)/\rho c_p].$$

Pentru curgerea într-o direcție z:

$$\left.\frac{DT}{Dt}\right|_z = w_z\frac{\partial T}{\partial z};\quad \left.\frac{DP}{Dt}\right|_z = w_z\frac{\partial P}{\partial z}$$

$$\left[\frac{\partial T}{\partial t}\right] = \left[\frac{T\beta}{\rho c_p}\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)\right] = \left[32T\beta\left(\frac{\mathrm{Re}\nu^2}{c_p d^3}\right)\right] =$$

$$= \left[32T\beta\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)_{\substack{\text{disipare}\\ \text{vîscoasă}}}\right]$$

$$\left[\frac{32\mu<w_z>}{d^2}\right]$$

Pentru aer $\beta = \frac{1}{T} \Rightarrow \left[\frac{\partial T}{\partial z}\right]_{\substack{\text{lucru}\\ \text{mecanic}\\ \text{reversibil}}} =$

$$= [1{,}5\cdot10^{-8}\ \mathrm{Re}].$$

Deci și aici efectul este neglijabil pentru curgeri cu numere Re mici.

— Ultimul termen poate fi, de asemenea, neglijat atîta timp cît nu vom lua în considerare surse interne de căldură (reacții chimice exotermice sau procese de ardere).

Dacă în timpul curgerii presiunea este constantă, ecuația (3''') se poate pune sub forma:

$$\rho c_p\frac{DT}{Dt} = \nabla\cdot(k\nabla T) + \nabla\vec{w}:\vec{\tau} + \Phi, \qquad (3a)$$

iar dacă conductivitatea este constantă:

$$\rho c_v\left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{w}\cdot\nabla T\right) = k\nabla^2 T + \Phi. \qquad (3b)$$

În coordonate cilindrice, ecuația energiei termice poate fi pusă sub forma:

$$\rho\left(\frac{\partial e}{\partial t} + w_x\frac{\partial e}{\partial x} + w_R\frac{\partial e}{\partial R} + \frac{w\theta}{R}\frac{\partial e}{\partial\theta}\right) =$$

$$= -\left[\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{1}{R}\frac{\partial}{\partial R}(Rq_R) + \frac{1}{R}\left(\frac{\partial q\theta}{\partial\theta}\right)\right] -$$

$$-p\left[\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_x}{\partial R} + \frac{wR}{R} + \frac{1}{R}\left(\frac{\partial w\theta}{\partial\theta}\right)\right] +$$

$$+2\mu\left[\left(\frac{\partial w_x}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial w_R}{\partial R}\right)^2+\left(\frac{1}{R}\frac{\partial w_\theta}{\partial \theta}+\frac{w_R}{R}\right)^2\right]+$$

$$+\mu\left[R\frac{\partial}{\partial R}\left(\frac{w_\theta}{R}\right)+\frac{1}{R}\left(\frac{\partial w_R}{\partial \theta}\right)\right]^2+$$

$$+\mu\left[\frac{1}{R}\left(\frac{\partial w_x}{\partial \theta}\right)+\left(\frac{\partial w_R}{\partial \theta}\right)\right]^2+$$

$$+\mu\left[\frac{\partial w_R}{\partial x}+\frac{\partial w_x}{\partial R}\right]^2+\Phi \qquad (3''a)$$

sau sub forma:

$$\rho c_p\left(\frac{\partial T}{\partial t}+w_x\frac{\partial T}{\partial x}+w_R\frac{\partial T}{\partial R}+\frac{w_\theta}{R}\cdot\frac{\partial T}{\partial \theta}\right)=$$

$$=\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{1}{R}\frac{\partial}{\partial \theta}\left(\frac{k}{R}\frac{\partial T}{\partial \theta}\right)+$$

$$+\frac{1}{R}\left(Rk\frac{\partial T}{\partial R}\right)+T\beta\frac{DP}{Dt}+$$

$$+2\mu\left[\left(\frac{\partial w_x}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial w_R}{\partial R}\right)^2+\left(\frac{1}{R}\frac{\partial w_\theta}{\partial \theta}+\frac{w_R}{R}\right)^2\right]+$$

$$+\mu\left[R\frac{\partial}{\partial R}\left(\frac{w_\theta}{R}\right)+\frac{1}{R}\left(\frac{\partial w_R}{\partial \theta}\right)\right]+$$

$$+\mu\left[\frac{1}{R}\left(\frac{\partial w_x}{\partial \theta}\right)+\left(\frac{\partial w_\theta}{\partial x}\right)^2+\mu\left(\frac{\partial w_x}{\partial R}+\frac{\partial w_R}{\partial x}\right)^2+\Phi.\right.$$

(3'''a)

Cînd curgerea are loc în regim staţionar şi adiabatic, forţele de frecare nu depăşesc graniţele sistemului şi, deci, energia internă a gazului creşte. În absenţa forţelor de cîmp, toţi termenii din partea dreaptă a ecuaţiei (3′) sînt nuli şi, ca urmare, ecuaţia energiei poate fi integrată, obţinîndu-se relaţia:

$$\mu+\frac{1}{2}w^2+\frac{p}{\rho}=\text{const}, \qquad (3c)$$

sau pentru un gaz perfect:

$$\frac{k}{k-1}\frac{p}{\rho}+\frac{w^2}{2}=c_p\cdot T+\frac{w^2}{2}=\text{const}. \qquad (3d)$$

Idealizarea introdusă prin utilizarea conceptului de gaz perfect corespunde în mare situaţiei reale pentru valori ridicate ale temperaturii şi moderate ale presiunii. La valori ale lui p ridicate şi T foarte mici trebuie avută în vedere natura reală a gazului. Valori mari ale lui T se întîlnesc des în tehnică, astfel că nu se pot neglija efectele acesteia asupra gazului (ardere, reactoare chimice şi nucleare, procese în propulsia rachetelor ş.a., aplicaţii industriale). Trebuie, în aceste cazuri, avute în vedere procesele de disociere a moleculelor. Ecuaţia de stare a gazului se poate scrie în aceste situaţii:

$$p=R_M T n(1+x)$$

unde: x este fracţia de gaz care disociază; $R_M=MR$ — constanta molară (universală) a gazului; n — numărul de kilomoli ai gazului disociat, calculul efectuîndu-se pe baza ecuaţiei de conservare a speciilor.

La temperaturi foarte mari electronii sînt activaţi energetic, îşi părăsesc orbitele şi devin liberi. În aceste cazuri, gazul se ionizează şi capătă proprietăţile plasmei. Pentru această situaţie de amestec de molecule, atomi, ioni şi electroni, ecuaţia de stare trebuie să fie însumată pentru mai multe specii care disociază:

$$p=R_M T n(1+\Sigma x_i).$$

Se obişnuieşte a se introduce noţiunea de timp de relaxare pentru a estima timpul necesar disocierii moleculelor, ionizării sau combinării cu alte specii. Prin raportarea acestui timp la timpul de curgere caracteristic, se obţine un criteriu pe baza căruia se poate aprecia starea de echilibru termodinamic a sistemului respectiv, aşa-zisul prim criteriu al lui Köhler:

$$Da_I=\frac{t_{curgere}}{t_{relaxare}}.$$

Pentru $Da_I \ll 1$, sistemul se află în echilibru termodinamic, gradul de ionizare putînd fi calculat cu relaţia lui Saha:

$$\frac{x^2}{1-x^2}=\text{constantă}\left[\frac{T^{5/2}}{p}\exp-(E_0/RT)\right],$$

unde E_0 este un parametru caracteristic gazului.

Pentru $Da_{II} \ll 1$, se consideră curgerea gazului ca o curgere „îngheţată". Timpul de relaxare este aşa de mare, încît gazul se comportă ca un gaz perfect.

Pentru $Da_I \approx 1$ este necesară cunoaşterea amănunţită a proceselor chimice ce au loc şi controlul debitului de gaz. Deşi există studii numeroase pentru un număr mare de reacţii, totuşi nu pot fi explicate complet nici prin relaţii teoretice de calcul, nici prin procese relativ simple (ex.: arderea unui simplu bec Bunsen).

Parametrii adimensionali în raport cu care se clasifică curgerile în g. sînt, de obicei, în afară de numărul Knudsen şi

Scanned with OKEN Scanner

raportul Damköhler, criteriul Reynolds și criteriul Mach.

Criteriul Reynolds

$$\mathrm{Re}=\frac{wl}{\nu}$$

exprimă raportul dintre forțele de inerție și cele de vîscozitate ce se manifestă în timpul curgerii. În funcție de valorile acestui criteriu, regimul de curgere al unui gaz printr-un canal poate fi apreciat ca:

— regim laminar ($\mathrm{Re}<\mathrm{Re}_{cr_1}$);

— regim tranzitoriu ($\mathrm{Re}_{cr_1}<Re\leqslant \mathrm{Re}_{cr_2}$);

— regim turbulent ($\mathrm{Re}>\mathrm{Re}_{cr_2}$),

în care Re_{cr_1} și Re_{cr_2} sînt valori ce depind de forma secțiunii de curgere; pentru o secțiune circulară $\mathrm{Re}_{cr_1}=2\,400$ și $\mathrm{Re}_{cr_2}=10^4$.

În raport cu criteriul Mach (definit ca raportul dintre viteza curgerii gazului și viteza locală de propagare a sunetului în gazul respectiv), regimurile gazodinamice de curgere pot fi clasificate în:

$M<1$ — curgere subsonică;

$M=1$ — curgere sonică;

$0{,}9<M<1{,}1$ — curgere transonică;

$M>1$ — curgere supersonică;

$M>5$ — curgere hipersonică.

Curgerea internă sau interioară, din punct de vedere gazodinamice, se poate studia după:

— forma conductei sau canalului și variația secțiunii ei;

— schimbul de căldură din peretele canalului și sursele interne de căldură;

— efectele frecărilor.

Aspectele esențiale de curgeri pot fi analizate, urmărind variația acestor caracteristici la un moment dat.

Variația secțiunii de curgere poate conduce la accelerarea curgerii sau frînarea ei, așa cum se întîmplă în cazul ajutajelor (v. Ajutaj) sau al variațiilor bruște de secțiune.

Curgerea cu schimb de căldură (neadiabatică) caracterizează procesele ce au loc în camerele de ardere sau în spațiile în care se produce un transfer de căldură. Ecuațiile care descriu aceste procese sînt complicate și, în consecință, se recurge la o serie de ipoteze simplificatoare care să permită soluționarea analitică a lor. Dintre acestea se pot menționa:

— curgerea are loc cu menținerea constantă a secțiunii;

— nu există frecări interne și la pereții contururilor;

— gazul este considerat gaz perfect cu căldură specifică constantă;

— compoziția gazului nu se modifică;

— nu există sisteme interne care să producă sau să consume lucru mecanic;

— curgerea este staționară.

Ecuațiile care se conformează acestor ipoteze se numesc ecuațiile Rayleigh, iar curgerea asociată acestora se numește *curgere Rayleigh*. Variațiile parametrilor curgerii (presiune, temperatură și densitate) în funcție de numărul Mach pentru curgerea Rayleigh sînt reprezentate în tabelul G.2.

Tabelul G.2

Variația parametrilor unui gaz perfect la curgere cu schimb de căldură

Parametrul	Încălzire		Răcire	
	$M>1$	$M<1$	$M>1$	$M<1$
T_0	crește	crește	descrește	descrește
p	crește	descrește	descrește	crește
p_0	descrește	descrește	crește	crește
w	descrește	crește	crește	descrește
T	crește	— crește (cînd $M<1/\sqrt{k}$) — descrește (cînd $M>1/\sqrt{k}$)	descrește	— descrește (cînd $M<1/\sqrt{k}$) — descrește (cînd $M>1/\sqrt{k}$)

Curgere cu frecare. În lungul conductelor, efectul frecării se manifestă prin scăderea presiunii. Pentru un element de conductă dx scăderea de presiune se poate exprima cu ecuația lui Fanno:

$$dp=-f\frac{\rho w^2}{dh}dx,$$

unde f este un coeficient determinat experimental.

Pentru efectuarea calculelor analitice se pot face o serie de ipoteze simplificatoare ca în cazul curgerii Rayleigh (cu ex-

Scanned with OKEN Scanner

cepția lipsei frecării). În acest caz, curgerea se numește *curgere Fanno*. Variația proprietăților curgerii în cazul curgerilor Fanno este redată în tabelul G.3.

Tabelul G.3

Variația parametrilor unui gaz perfect la o curgere Fanno, accelerată

Parametrul	Curgere inițială subsonică	Curgere inițială supersonică
M	crește	descrește
w	crește	descrește
p	descrește	crește
T	descrește	crește
ρ	descrește	crește

Curgerea externă apare în jurul corpurilor care se deplasează în gaze sau al obstacolelor în calea curentului de gaz aflat în mișcare. De obicei, prezintă interes curgerea gazelor în stratul limită și curgerea cu dîre sau siaje (v. Strat limită).

Perturbații în curgerea gazelor. Perturbațiile pot fi generate de un obstacol întîlnit în curgerea gazului sau de o sursă emițătoare de unde. În gazele aflate în repaus, perturbațiile se propagă sub forma unor unde sferice, cu viteza sunetului. Cînd gazul se găsește în mișcare, undele de perturbare vor fi antrenate de acesta și se compun vectorial. Dacă viteza de curgere a gazului este subsonică, viteza de propagare a perturbațiilor fiind sonică, întreaga masă a gazului va fi cuprinsă de undele ce se propagă. În cazul curgerii gazelor cu viteze supersonice, perturbația va afecta numai un spațiu format dintr-un con cu unghiul la vîrf $\alpha = \arcsin w/a$. Zona de întîlnire a undei de perturbație cu gazul (pentru o curgere adiabatică) are loc pe suprafața laterală a conului, unde el se frînează și, ca urmare, apare o discontinuitate în cîmpul de presiune al gazului, denumită *undă de șoc* sau *salt de compresiune*. Perturbația ce generează unda de șoc se formează la o muchie sau un perete pe care îl întîlnește un curent de gaz supersonic. Perturbațiile slabe dau naștere unor unde de compresiune care se deplasează cu viteza sunetului și care produc numai un salt de presiune, pe cînd perturbațiile puternice produc atît un *salt de presiune*, cît și un *salt de temperatură și densitate*.

Zona în care apar aceste salturi este foarte subțire (de ordinul parcursului liber mijlociu molecular) și poartă denumirea de *front de undă de șoc*.

În unele cazuri, ca de exemplu la apariția detonației în flăcări, în unda de șoc apare în locul unei compresiuni o depresiune. Acest fenomen este caracteristic curgerilor supersonice cu un puternic schimb de căldură cu exteriorul, teoria generală a propagării undei de șoc fiind valabilă și în acest caz.

În cazul *curgerii adiabatice*, frontul undei de șoc poartă denumirea de *adiabata lui Huguenot*.

Notînd cu 1 parametrii gazului în fața undei de șoc și cu 2 în spatele undei de șoc, salturile de viteză, densitate, presiune și de temperatură în cazul unei unde de șoc dreaptă pot fi exprimate cu relațiile:

— saltul de viteză:

$$w_2 = \frac{a_{cr}^2}{w_1};$$

— saltul de densitate:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{\frac{K+1}{K-1} + \frac{p_1}{p_2}}{1 + \frac{K+1}{K-1} \cdot \frac{p_1}{p_2}};$$

— saltul de presiune:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{M_{cr_1} - \frac{K-1}{K+1}}{1 - \frac{K-1}{K+1} M_{cr_1}};$$

— saltul de temperatură:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_0 - \frac{w_2^2}{2cp}}{T_0 - \frac{w_1^2}{2cp}}$$

(unde T_0 este temperatura frînată).

G. în mașinile rotative și reactive. Mișcarea unui gaz printr-un canal al unei mașini rotative sau reactive poate avea loc:

— staționar sau permanent, în care caz viteza de curgere și valorile parametrilor de stare ale gazului au valori constante în timp;

— nestaționar sau nepermanent, în care caz viteza și mărimile de stare ale gazului, într-o secțiune oarecare, variază în timp.

Traiectoriile descrise de particulele de fluid în deplasarea lor printr-un canal oarecare pot avea două aspecte:

Scanned with OKEN Scanner

— paralele cu axa conductei, viteza fiind orientată în direcţia curgerii, în care caz regimul de curgere se numeşte laminar;

— haotic, vitezele particulelor prezentînd o componentă perpendiculară pe direcţia curgerii — în acest caz, regimul de curgere se numeşte turbulent.

Repartiţia radială a vitezei axiale într-o secţiune, de exemplu a unei conducte, depinde de regimul de curgere (Fig. G.13). Pentru curgerea în regim laminar

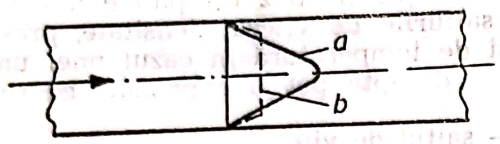


Fig. G.13. Repartiţia vitezei de curgere laminară într-o conductă.

(curba *a*), repartiţia vitezei axiale are un aspect parabolic, cu viteza maximă în axa conductei; pentru curgerea turbulentă (curba *b*), forma curbei de repartiţie a vitezelor axiale este aplatizată, valoarea vitezei medii fiind mai apropiată de viteza maximă. Ţinînd seama de repartiţia neuniformă a vitezelor axiale în secţiune, expresia vitezei medii într-o secţiune oarecare A se stabileşte potrivit relaţiei:

$$W_m = \frac{1}{A}\int_A w \cdot dA \qquad \left[\frac{m}{s}\right].$$

Produsul $w dA$ reprezintă debitul volumic specific. Aprecierea regimului de curgere se face cu ajutorul valorii criteriului Reynolds ($Re = w d_e/\nu$), în care: w_m este viteza medie în secţiune $\left[\frac{m}{s}\right]$; d_e — diametrul conductei sau cel echivalent al unui canal [m]; ν — vîscozitatea cinematică [m²/s] $\left(\nu = \frac{\eta}{\rho}\right)$; η — vîscozitatea dinamică [kg/ms]; ρ — densitatea [m³/kg].

Curgerea gazelor în maşinile termice are loc prin canale cu secţiuni mici şi viteze mari; ca urmare, se acceptă ipoteza unei valori mari a componentei axiale a vitezei faţă de cea radială şi, deci, a unei curgeri unidirecţionale. Toate mărimile (termice, mecanice sau fizice) ale gazului se acceptă ca avînd valoarea medie în secţiune. Ca urmare, ecuaţia de curgere Navier-Stockes pentru curgerea tehnică unidirecţională, are forma:

$$\frac{Dw_x}{d\tau} = \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + \nu\left(\frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2}\right)$$

Ecuaţiile fundamentale ale curgerii tehnice unidirecţionale sînt:

Ecuaţia continuităţii, care stabileşte valoarea cantităţii de gaz care intră şi iese dintr-un sistem termodinamic prin secţiunile A_1 şi A_2:

$$\dot{m} = \rho_1 A_1 w_1 = \rho_2 A_2 w_2 \quad [kg/s];$$

Ecuaţia conservării energiei; în baza primului principiu al termodinamicii, suma formelor de energie ale unui sistem termodinamic în curgere la momentul τ_1 este egală cu cea de la momentul τ_2; pentru un debit de gaz $\dot{m} = 1$ kg/s, ecuaţia are forma:

$$\frac{w_1^2}{2} + p_1 v_1 + u_1 + g z_1 + q = \frac{w_2^2}{2} +$$

$$+ p_2 v_2 + u_2 + g z_2 + l + lpv \quad [J/kg];$$

Ecuaţia cantităţii de mişcare (impulsului), care arată că suma vectorială a tuturor forţelor ce acţionează asupra unei mase de gaz în mişcare este egală cu variaţia impulsului în unitatea de timp:

$$\Sigma F_i = -\frac{d}{d\tau}(m\vec{w});$$

Ecuaţia momentului cantităţii de mişcare, care arată că suma momentului forţelor exterioare este egală cu variaţia în unitatea de timp a momentului cantităţii de mişcare, exprimată prin relaţia:

$$\Sigma M_x = \frac{d}{d\tau}\Sigma m(w_z y - w_y z),$$

ΣM_x fiind suma momentelor forţelor exterioare faţă de axa x, iar w_z şi w_y — proiecţiile vitezei pe axele z şi y.

Ecuaţia mişcării turbionare, mişcare ce nu poate lua naştere decît printr-un impuls exterior. Legea de bază a mişcării turbionare este $wr = \text{const.}$, deci într-un turbion produsul între viteză şi rază este constant.

Aplicaţii tehnice ale ecuaţiilor termodinamicii gazelor perfecte sînt:

— determinarea influenţei frecării asupra lucrului mecanic la o turbomaşină;

— determinarea influenţei naturii gazului asupra schimbului de lucru mecanic;

— determinarea randamentului termogazodinamic al turbomaşinilor;

Scanned with OKEN Scanner

— determinarea variației parametrilor de stare în procesele adiabatice de curgere;
— determinarea pierderilor de presiune accidentale la curgerea unui gaz prin canale de secțiune variabilă.

Aceste aplicații sînt realizabile, utilizînd ca aparate specifice ajutajele și difuzoarele.

Ajutajul este un transformator energetic static la care energia cinetică este una din energiile determinate, iar cea de a doua poate fi energia internă, căldura sau lucrul mecanic. Denumirea de ajutaj se dă utilajului la care energia cinetică a gazului care curge prin el este mai mare la ieșire decît la intrare. Denumirea de *difuzor* este dată utilajului la care energia cinetică a gazului la ieșire este mai mică decît la intrare.

Ajutaj geometric fără frecare. Ajutajul geometric transformă energia potențială a unui gaz (energie internă plus lucru mecanic de deplasare) în energie cinetică. Constructiv, ajutajul este un simplu canal imobil, a cărui secțiune este variabilă. În ajutaj, gazul efectuează o transformare adiabat-izentropă. În figura G.14 sînt prezentați parametrii

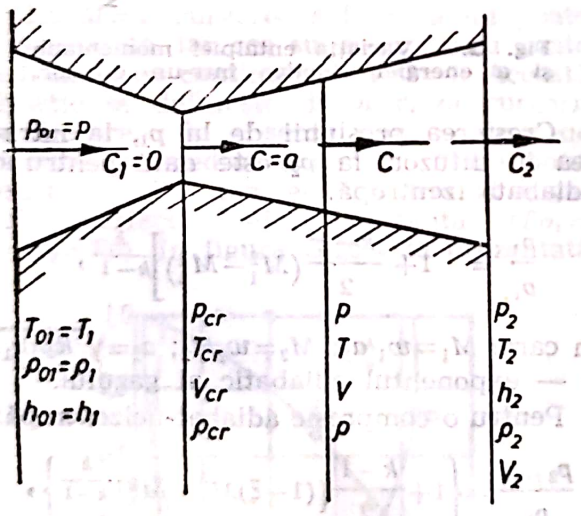


Fig. G.14. Ajutaj geometric convergent-divergent (supersonic).

gazului într-un ajutaj geometric convergent-divergent (ajutaj supersonic). Dacă viteza la ieșire este mai mică sau egală cu viteza sunetului, ajutajul va fi numai convergent (ajutaj subsonic sau sonic).

Viteza gazului la ieșirea din ajutaj (c_2) pentru o curgere fără frecare se obține cu relația:

$$c_2=\sqrt{2(h_1-h_2)+c_1^2}=$$

$$=\sqrt{2\frac{k}{k-1}\frac{p_{01}}{\rho_1}\left[1-\left(\frac{p_2}{p_{01}}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]+c_1^2} \quad [\text{m/s}],$$

iar debitul maxim de gaz [kg/s] ce trece printr-un ajutaj convergent-divergent sau convergent cu secțiunea de ieșire A_2 [m²] este:

$$\dot{m}=A_2\sqrt{2\cdot\frac{k}{k-1}\frac{p_1}{v_1}\left[\left(\frac{p_2}{p_{01}}\right)^{2/k}-\left(\frac{p_2}{p_{01}}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right]}$$

[kg/s],

în care: $p_{01}=p_1+\frac{\rho_1 w_1^2}{2}$; k — exponentul adiabatic al gazului.

Ajutaj geometric cu frecare. În cazul cînd se ține seama de frecarea gazului de peretele ajutajului, procesul de destindere din ajutaj devine adiabat-neizentrop (Fig. G.15). Pe dia-

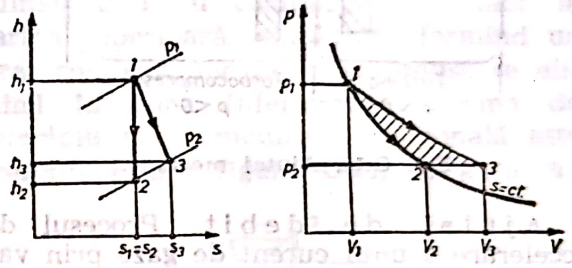


Fig. G.15. Destindere adiabat-neizentropă într-un ajutaj geometric.

grama h—s și p—v, adiabata izentropă este *1*—*2*, iar adiabata neizentropă *1*—*3*. Lucrul mecanic de frecare este $l_{fr}=h_3-h_2$.

Viteza de ieșire pentru o curgere cu frecare este:

$$c_{2_{real}}=\varphi\cdot c_2 \quad [\text{m/s}],$$

în care φ este coeficientul de frecare în ajutaj ($\varphi=0{,}92$—$0{,}98$), iar debitul maxim este:

$$\dot{m}=A_2\sqrt{2\varphi\frac{k}{k-1}p_1\rho_1\left[\left(\frac{p_2}{p_{01}}\right)^{\frac{2}{k}}-\left(\frac{p_2}{p_{01}}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}$$

[kg/s].

Ajutajul termic este un canal în care accelerarea curentului are loc pe seama schimbătorului de căldură al gazului cu mediul exterior. Accelerarea curentului pînă la viteze subsonice are loc cu aport de căldură, iar pînă la curgeri supersonice, cu cedare de căldură. Ca efect al aportului de căldură pe porțiunea subsonică și al cedării de căldură pe porțiunea supersonică, în secțiunea critică (unde se atinge viteza sunetului), entalpia frînată a gazului va avea valoarea maximă.

Scanned with OKEN Scanner

Ajutajul mecanic este un canal cu secţiune constantă. Pentru ca o curgere să se accelereze la o viteză subsonică, gazul trebuie să efectueze un lucru mecanic exterior, iar pentru ca să ajungă la o viteză supersonică trebuie să primească din exterior lucru mecanic. Schematic, ajutajul mecanic este un canal de secţiune constantă, în care în partea subsonică se găseşte o turbină de gaze, iar în partea supersonică, un turbocompresor (Fig. G.16).

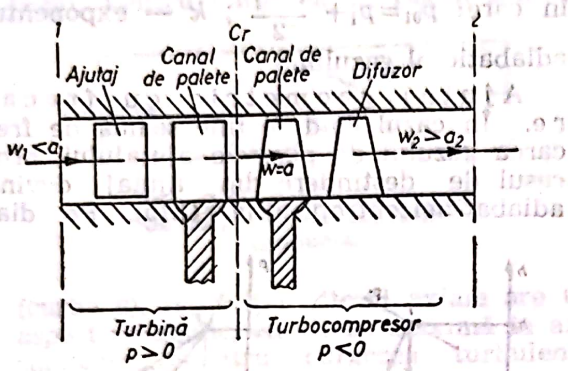


Fig. G.16. Ajutaj mecanic.

Ajutaj de debit. Procesul de accelerare a unui curent de gaze prin variaţia debitului are loc într-un canal cu secţiune constantă, fără schimb de căldură cu mediul exterior şi fără lucru mecanic exterior. Din figura G.17 se constată

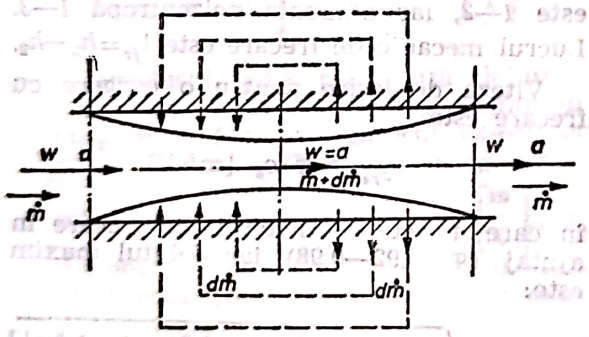


Fig. G.17. Ajutaj de debit.

că pentru a atinge viteza subsonică, debitul de gaz trebuie să crească. Pentru a se atinge o viteză supersonică debitul de gaz trebuie să scadă. Deci, în secţiunea sonică, debitul de gaz ce curge prin ajutajul de debit are valoarea maximă. Liniile de curent se vor concentra în porţiunea subsonică, creînd o învăluitoare convergent-divergentă ca şi cea a ajutajului geometric. Ca urmare, realizarea ajutajului de debit presupune recircularea unei mase de gaz din zona supersonică în cea subsonică.

Difuzorul. Este un canal în care gazul în curgere efectuează teoretic o compresie adiabat-izentropă, iar real, adiabat-neizentropă, pe seama energiei cinetice. Procesul are loc fără efectuare de lucru mecanic exterior şi fără schimb de căldură. Difuzorul este utilizat la turbocompresoare pentru a transforma energia cinetică mare a gazului de la ieşirea din canalele de palete în energie potenţială. Variaţia parametrilor gazului într-un difuzor este prezentată în figura G.18.

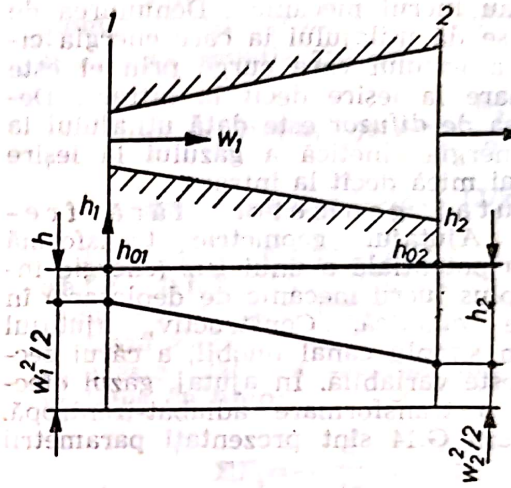


Fig. G.18. Variaţia entalpiei momentane şi a energiei cinetice într-un difuzor.

Creşterea presiunii de la p_1, la intrarea în difuzor, la p_2 este dată pentru o adiabată izentropă:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left[1+\frac{k-1}{2}(M_1^2-M_2^2)\right]^{\frac{k}{k-1}},$$

în care: $M_1=w_1/a_1$; $M_2=w_2/a_2$; $a_1=\sqrt{kp_1v_1}$; k — exponentul adiabatic al gazului.

Pentru o compresie adiabat-neizentropă:

$$\frac{p_{2\,real}}{p_1}=\left\{1+\frac{k-1}{2}\left[(1-\xi)M_1^2-M_2^2\right]^{\frac{k}{k-1}}\right\},$$

în care ξ este coeficientul de frecare în difuzor.

Curgerea gazelor prin canale sau conducte lungi.

Curgere adiabatică cu frecare. Valoarea lucrului mecanic de frecare creşte odată cu distanţa parcursă de fluid; se constată apariţia a două situaţii, în funcţie de valoarea criteriului M_1 al curgerii în starea iniţială.

La curgeri subsonice ($M_1<1$), lucrul mecanic de frecare determină o creştere a vitezei de curgere a gazului, iar la

curgeri inițial supersonice ($M_1>1$), lucrul mecanic de frecare conduce la o micșorare a vitezei de curgere a gazului. Această variație este prezentată în figura G.19.

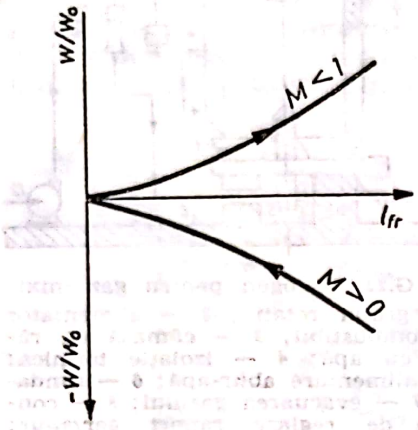


Fig. G.19. Influența lucrului de frecare asupra curgerii.

Accelerarea unui curent de gaz de la viteza subsonică la cea sonică se poate face, deci, numai pe seama lucrului mecanic de frecare, aceasta aducînd un curent subsonic la viteza sonică și unul supersonic, tot la viteza sonică.

La $M=1$, curgerea subsonică nu poate fi accelerată, iar cea supersonică nu poate fi frînată, ea continuînd cu $M=1$. Această situație se definește drept criza curgerii cu frecare. În absența unui schimb de căldură cu mediul exterior, între două secțiuni 1 și 2, temperatura frînată a gazului perfect rămîne constantă ($To_1=To_2=To$). În figura G.20 este prezentată

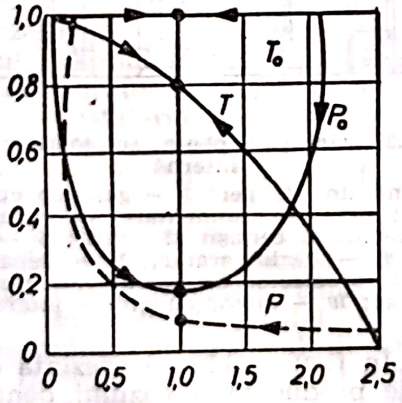


Fig. G.20. Variația parametrilor unui gaz la o curgere cu frecare.

variația temperaturii și densității unui gaz perfect la o curgere subsonică și supersonică cu frecare, printr-o conductă circulară. Săgețile de pe curbe indică direcția de variație a lui M.

Curgere cu schimb de căldură. Curgerea gazului perfect printr-o conductă de secțiune constantă, cu schimb de căldură cu pereții, are loc datorită variației densității gazului cu schimbarea vitezei și, ca urmare, cu pierderi de presiune.

GAZOGEN. Agregat sau instalație în care un combustibil solid, prin reacții chimice, se transformă în gaze combustibile cu diverse utilizări: arderea în cuptoare industriale, consum casnic, în industria chimică drept materie primă etc.

G. este un cuptor vertical cilindric sau paralelipipedic, cu sau fără grătar, cu alimentare continuă sau periodică, mecanizată sau manuală. Se confecționează din tablă de fier și este căptușit cu un material refractar, prevăzut sau nu cu răcire. Alimentarea cu combustibil se face la partea superioară, umplutura formînd un strat compact, iar zgura și cenușa se elimină în zona inferioară. Schema de principiu și structura funcțională este prezentată în figura G.21. Agentul

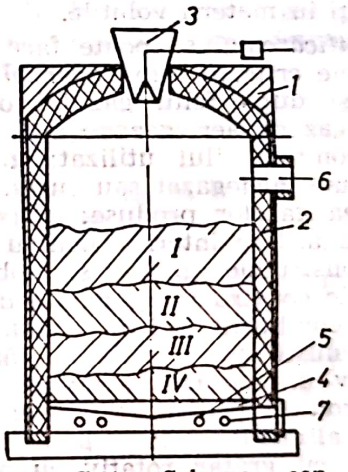


Fig. G.21. Schema constructivă a unui gazogen: *I* — zona de uscare; *II* — zona de pirogenare; *III* — zona de reducere; *IV* — zona de oxidare; *1* — manta; *2* — material refractar izolator; *3* — gură de alimentare; *4* — grătar; *5, 7* — orificii de insuflare a aerului; *6* — intrarea agentului de gazeificare.

de gazeificare (aerul sau vaporii de apă) se poate introduce fie în zona inferioară (circulație în sens ascendent) în care caz gazele de ardere se deplasează vertical (în sus), străbătînd masa de combustibil, fie laterai (circulație descendentă sau transversală a gazelor). Combustibilul capătă o structură funcțio-

nală, formată din următoarele zone în sens ascendent în g. (Fig. G.21): zona de oxidare; zona de reducere; zona de pirogenare; zona de uscare. Zonele de oxidare şi de reducere formează zona de gazeificare, în care au loc reacţiile de formare a gazelor de generator (combustibile). Compoziţia gazelor este diferită în zonele funcţionale, şi anume: în zona de oxidare, gazele au o concentraţie ridicată de oxigen şi bioxid de carbon şi una redusă de oxid de carbon, temperatura fiind ~ 1 200 °C. În zona de reducere, bioxidul de carbon se reduce cu oxigen la oxid de carbon şi vaporii de apă se descompun în hidrogen şi oxigen, temperatura fiind 800—1 000 °C. În zona de pirogenare, gazele calde transformă cărbunele în cocs şi semicocs, antrenînd materiile volatile rezultate, temperatura fiind de 300—800 °C. În zona de uscare, gazele calde elimină prin evaporare umiditatea din combustibil, temperatura fiind de ~ 300 °C. Stratul de combustibil are grosime variabilă, în funcţie de calitatea sa, şi anume: 0,5—0,7 m pentru cărbuni uscaţi şi săraci în materii volatile; 4—6 m pentru cei umezi şi bogaţi în materii volatile.

Clasificarea **g.** se poate face după următoarele criterii: după agentul de gazeificare şi după felul gazului obţinut: g. pentru gaz de aer, gaz de apă, gaz mixt; după combustibilul utilizat: g. cu cocs, cu cărbune nedegazat sau cu lemne; după utilizarea gazelor produse: g. pentru motoare cu ardere internă, pentru cuptoare; după construcţie: g. fixe şi mobile; după modul de construcţie şi modul de alimentare cu combustibil şi de evacuare a zgurii şi cenuşii: g. cu grătar şi fără grătar, respectiv g. manuale, semimecanizate cu grătar rotativ pentru evacuarea zgurii şi cenuşii, alimentarea fiind manuală, g. mecanizate cu grătar rotativ cu alimentare mecanizată, cu combustibil şi antrenarea stratului de combustibil. În prezent, există instalaţii de g. cu insuflare de aer îmbogăţit în oxigen, cu insuflare de abur şi oxigen, cu gazeificare în strat fluidizat sau în suspensie.

Schema unui g. pentru gaz mixt este prezentată în figura G.22. Cărbunele trece din buncărele situate deasupra g. în alimentatorul cu contragreutate *2*. Zgura şi cenuşa sînt evacuate prin intermediul grătarului rotativ *1* acţionat de reductorul *14*. Aerul necesar procesului este furnizat de ventilatorul *12*, raportul debitelor aer-abur reglîndu-se prin regulatorul-dozator *10*, comandat de presiunea gazului din conducta de evacuare *7* prin conducta de reglare *8*. Aburul necesar este produs prin

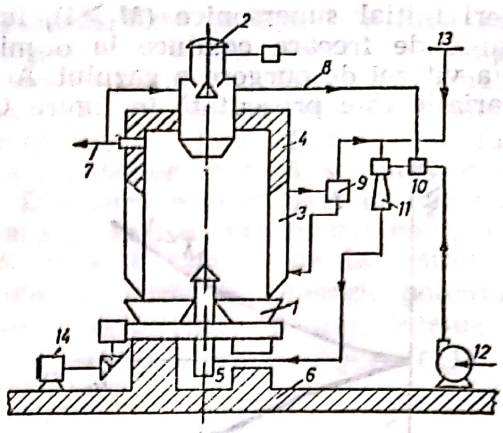


Fig. G.22. Gazogen pentru gaz mixt: *1* — grătar rotativ; *2* — alimentator de combustibil; *3* — cămaşă de răcire cu apă; *4* — izolaţie termică; *5* — alimentare abur-apă; *6* — fundaţie; *7* — evacuarea gazului; *8* — conducta de reglare raport aer/abur; *9* — separator de condensat; *10* — dozator de aer; *11* — ejector de alimentare abur-apă; *12* — ventilator de aer; *13* — reţea de abur suplimentar; *14* — motor de antrenare a grătarului.

vaporizarea apei în camera de răcire *3* a zonei inferioare a g. după separarea de picături în separatorul *9*, amestecul abur-aer realizat în injectorul *11* fiind introdus prin conducta de alimentare *5*. Circulaţia gazelor şi cărbunilor este în contracurent. **G.** sînt folosite pentru valorificarea cărbunilor inferiori, a şisturilor bituminoase, nisipurilor gudronice sau a altor combustibili care nu pot fi utilizaţi

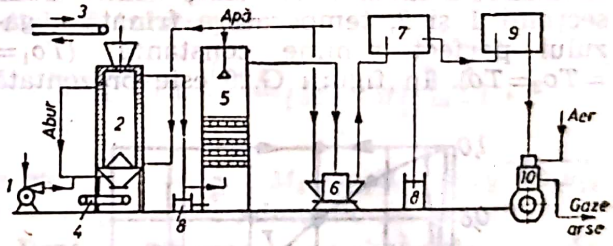


Fig. G.23. Gazogen pentru motoare cu ardere internă:

1 — ventilator de aer; *2* — gazogen cu cămaşă de răcire; *3* — alimentare cu combustibil; *4* — evacuarea cenuşii şi zgurii; *5* — scruber umed; *6* — dezintegrator; *7* — separator de lichid; *8* — colector de lichid; *9* — rezervor de gaz; *10* — motor cu ardere internă.

direct. În figura G.23 se prezintă o instalaţie de producere a gazului pentru motoare cu ardere internă. Gazele produse în g. sînt trecute prin conducta de legătură cu scruberul, unde se condensează parţial apa şi gudroanele conţinute în gaz; trec, apoi în scruber unde sînt răcite şi epurate de gudroane, care sînt colectate în colectorul *8;* sînt trecute în dezintegratorul *6* pentru finalizarea epurării, apoi în separatorul de picături *7;* de aici sînt tri-

Scanned with OKEN Scanner

mise în rezervorul tampon *9* și, în final, la motorul cu ardere internă *10*.

Un procedeu complex de utilizare a gazelor produse prin gazeificarea cărbunilor este procedeul LURGI de obținere a energiei electrice, pornind de la cărbuni prin gazeificare în strat fluidizat. Schema acestui procedeu este prezentată în figura G.24. Cărbunele este introdus în generatorul de gaze cu strat fluidizat *1*, în care se introduce abur produs în cazanul *6* și aer comprimat în compresoarele centrifugale *1* și *2*; presiunea aerului necesar pentru gazeificare fiind peste 22 bar, rezultă gazul lichefiat la 21,5 bar, care este introdus în epuratorul de gaz *2*, apoi desulfurat în instalația de desulfurare *3*, condus la turbina *4*, unde se destinde pînă la presiunea de 11 bar, turbina *4* antrenînd compresorul de înaltă presiune pentru aerul necesar generatorului. Gazul este ars sub presiune în focarul cazanului de abur *6* care produce vapori supraîncălziți ce se destind parțial în turbina *7*, antrenînd generatorul de curent alternativ *12* și se condensează în condensatorul *10*, condensatul fiind reintrodus în cazan; restul debitului de abur servește pentru gazeificare. Gazele rezultate din ardere în focarul cazanului sînt conduse la turbina *5* care antrenează compresorul de aer de joasă presiune *8* și generatorul de curent alternativ *11*. După destindere, gazele sînt introduse în recuperatorul de căldură *9* și evacuate apoi in

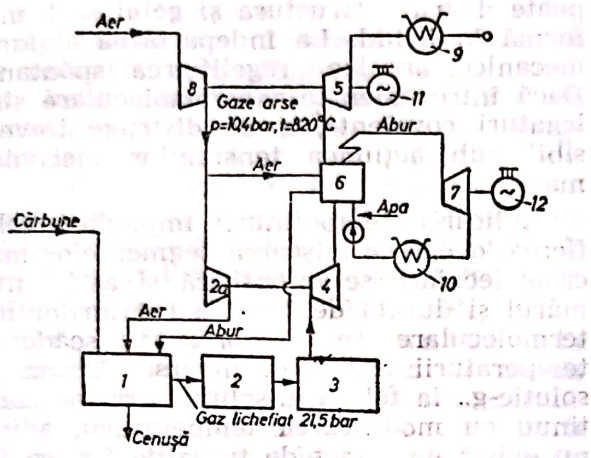


Fig. G.24. Gazogen tip „Lurgi“: *1* — generator de gaz; *2* — instalație de epurare; *3* — desulfurator de gaze; *2a* — compresor cu aer de înaltă presiune; *4* — turbină cu gaze; *5* — turbină de abur; *6* — cazan de abur, cu focar sub presiune; *7* — turbină cu abur; *8* — compresor de aer de joasă presiune; *9* — recuperator de căldură; *10* — condensator de abur; *11, 12* — generator electric.

mediul ambiant. Realizată practic din anul 1973, instalația produce 74 MW în turbina cu gaze și 98 MW în turbine cu abur, cu un randament de pînă la 50%.

GAZOLINA. Amestec de hidrocarburi lichide, ușor condensabile la temperatura obișnuită. Conține între 10 și 40% propan și butan, 20—30% pentan normal și izopentan, 20—50% hexan și izohexan și omologi superiori. Componența g. variază în funcție de natura țițeiului, de condițiile de exploatare și de separare a gazelor din țiței etc.

Se extrage din gazele de sondă, prin comprimare și răcire sau prin absorbție, fie din ulei mineral, fie din tetralină sub presiune.

Punctul inițial de distilare este sub 20 °C, iar cel final, de cca 150 °C, pînă la temperatura de 100 °C distilînd cca 70—80% din cantitatea totală. Densitatea g. este de 0,61—0,68·10³ kg/m³, iar tensiunea de vapori Reid, 1,3—2,3 kg/cm³.

G. *stabilizată* se obține prin eliminarea propanului și a unei părți din butan, folosind procedeul de rectificare la presiunea de 8—12 bar.

Introdusă în benzinele mai grele, g. le mărește cifra octanică, prin îmbogățirea în hidrocarburi ușoare.

GAZOMETRU. Aparat de măsurare a debitului de gaze (v. Contor de gaze).

GAY-LUSSAC, Louis-Joseph. Fizician și chimist francez (1778—1850). În 1802, a stabilit legea care îi poartă numele, privind relația între volumul și temperatura unui gaz la presiune constantă. În 1807, a descoperit experimental faptul că variația energiei interne a gazelor perfecte în timpul unei destinderi izoterme este nulă. Gay-Lussac este descoperitorul borului ca element chimic și a izolat pentru prima oară cianogenul.

GAY-LUSSAC (Legea lui). „Coeficientul de dilatare volumetrică izobar, la gazele perfecte, nu depinde de temperatură și este egal cu $\alpha = 1/273{,}15$.“ La gazul perfect, acest coeficient este egal și cu coeficientul termic al presiunii:

$$\alpha = \beta = \frac{1}{273{,}15} = 0{,}003661 \ [\text{grd}^{-1}].$$

De aici, se deduce legea transformării izobare la gazele perfecte: „raportul dintre volum și temperatură este constant“:

$$\frac{V}{T} = \text{const.}$$

Raportul V/T=const. se reprezintă grafic în diagrama p—V (Fig. G.25) printr-o paralelă la axa absciselor. Legea poate fi scrisă și sub forma:

$$V=V_0(1+\alpha t),$$

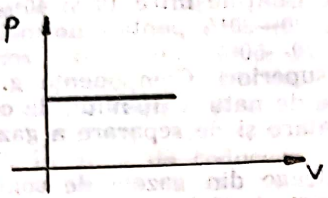


Fig. G.25. Reprezentarea legii Gay-Lussac în diagrama p—V.

în care: V_0 este volumul la temperatura de 0 °C; α — coeficientul de dilatare izobară; t — temperatura [°C].

GEL. Sistem dispers, care prezintă unele proprietăți de substanță în stare solidă: își păstrează forma (pierde fluiditatea) și prezintă elasticitate. Soluțiile de polimeri (solii liofili) și solii liofobi își pierd fluiditatea în condiții date, transformîndu-se în geluri. Procesul se numește gelifiere și poate avea loc spontan sau prin: modificarea temperaturii; concentrarea soluției; adaosul unor cantități mici de electrolit. Sub acțiunea acestor factori viscozitatea structurală a sistemului crește, transformîndu-se într-un sistem dispers eterogen, numit g., cu proprietăți de substanță solidă. Gelifierea se deosebește de coagulare prin faptul că la gelifiere nu se formează precipitat, ci întreaga masă a solului capătă o anumită rigiditate.

Gelifierea este consecința legăturilor care se stabilesc, prin forțe de natură fizică sau chimică, între moleculele polimerului (unitățile cinetice ale soluției). Dacă aceste legături există un timp infinit lung, sistemul capătă proprietăți de substanță solidă. Asemenea legături permanente se pot forma în soluții ca rezultat al interacțiunii dintre grupele polare sau ionice de semn opus ale macromoleculelor. Uneori, se formează legături covalente între macromolecule, ca în cazul vulcanizării cauciucului în soluție. Gelifierea reprezintă, deci, formarea și consolidarea unei rețele tridimensionale în sistem. Cînd soluțiile substanțelor macromoleculare se transformă în g., se formează legături nu numai la capetele unităților cinetice (macromoleculelor), cum se întîmplă în cazul solilor liofobi cu particule rigide alungite, ci pe întreaga lungime a macromoleculelor flexibile, dacă acestea au grupe ce pot interacționa.

La formarea g., porțiunile de macromolecule care interacționează se orientează paralel, deoarece astfel se reduce energia liberă a sistemului. Gradul de orientare depinde de natura polimerului și condițiile de gelifiere, putîndu-se ajunge pînă la structură cristalină.

În cazul în care legăturile dintre macromolecule nu sînt prea puternice, acțiunea mecanică (amestecarea sau agitarea) poate distruge structura și gelul se transformă în lichid. La îndepărtarea acțiunii mecanice, are loc regelifierea spontană. Dacă între catenele macromoleculare sînt legături covalente, g. se distruge ireversibil sub acțiunea tensiunilor mecanice mari.

Ridicarea temperaturii împiedică gelifierea, deoarece mișcarea segmentelor macromoleculare se intensifică și astfel numărul și durata de viață a legăturilor intermoleculare se micșorează; scăderea temperaturii are efect invers. Tranziția soluție-g., la fel ca g.-soluție, are loc continuu cu modificarea temperaturii, adică nu există un punct de tranziție fix, ca în cazul cristalizării și topirii. În unele cazuri, ca de exemplu pentru metilceluloză în apă și azotat de celuloză în etanol, efectul temperaturii este invers (creșterea temperaturii provoacă gelifierea, iar scăderea ei determină lichefierea), datorită coeficientului de temperatură negativ al solubilității polimerilor în solvenții dați.

Mărirea concentrației favorizează totdeauna gelifierea soluțiilor de polimeri, deoarece crește numărul de legături din unitatea de volum de g. Pentru polimerii cu macromolecule puternic alungite gelifierea poate avea loc și în soluții foarte diluate. De exemplu, la temperatura camerei, soluția de agar devine g. la o concentrație de 0,2%. Cu cît concentrația este mai mare, cu atît temperatura la care soluțiile substanțelor macromoleculare trec în geluri este mai ridicată. De exemplu, soluțiile de gelatină cu concentrația de 30—45% se gelifică la ~30°C, în timp ce cele de 10% devin g. la ~22°C; soluțiile de cauciuc se gelifică numai la temperaturi scăzute, deoarece moleculele sale conțin grupe nepolare, care nu formează legături intermoleculare puternice.

De regulă, volumul sistemului scade la gelifiere. În cazul gelifierii soluțiilor de acid silicic, însă, are loc creșterea volumului. Această creștere, care decurge simultan cu polimerizarea acidului silicic, se datorează liberării apei legată chimic de SiO_2.

În unele cazuri, gelifierea este însoțită de degajare de căldură, datorită formării

cristalelor şi degajării căldurii de cristalizare.

În cazul soluţiilor apoase de polielectroliţi amfoteri, cum sînt proteinele, gelifierea este influenţată puternic de *p*H-ul soluţiei, avînd loc cu precădere la punctul izoelectric, cînd numărul grupelor ionizate de semne opuse este identic şi legăturile intermoleculare se stabilesc în număr maxim.

Elasticitatea g. Dacă forţele intermoleculare sînt foarte slabe, soluţiile de polimeri curg. Cînd timpul de viaţă este lung chiar numai pentru o parte din contactele intermoleculare, g. nu curge pînă la o anumită valoare definită a tensiunii de forfecare şi se comportă ca un solid elastic în condiţii de forfecare sub valoarea critică. Valoarea tensiunii de forfecare critice depinde de numărul şi tăria contactelor intermoleculare.

Proprietăţile mecanice ale g. depind de concentraţie: g. cu număr mic de legături intermoleculare permanente pe unitatea de volum sînt foarte elastice, în timp ce cele cu densitate mare a legăturilor sînt rigide.

Tixotropia g. G. cu legături intermoleculare slabe se distrug sub acţiunea forţelor mecanice şi se refac dacă sistemul este lăsat în repaus, fenomen numit tixotropie. În general, sistemele macromoleculare posedă un spectru larg de contacte moleculare în ceea ce priveşte energia; tixotropia apare numai în condiţii speciale, care favorizează îngustarea acestui spectru, adică la diluţii relativ mari sau în stadiul iniţial al gelifierii, cînd structurile nu sînt formate din părţi de macromolecule orientate.

Memoria g. Dacă un g. a fost preparat din soluţie diluată şi altul, din soluţie concentrată de gelatină şi se usucă la temperatură scăzută la acelaşi conţinut de umiditate, cînd gelurile se reîmbibă cu apă, primul g. absoarbe mai multă decît al doilea, deoarece structura lor internă s-a păstrat într-o oarecare măsură la uscare.

Conductivitatea electrică a g. este similară cu cea a soluţiilor sau solilor din care s-au obţinut, deşi vîscozitatea este cu mult mai mare. Acest lucru se datorează faptului că reţeaua tridimensională a g. nu împiedică mişcarea ionilor mici în solvent. Cu alte cuvinte, „microvîscozitatea“ g. nu se modifică la gelifiere.

Sinereza g. G. proaspăt preparate suferă adesea o contracţie de volum, cu eliminarea spontană a unei părţi din mediul de dispersie, fenomen denumit sinereză. Ca rezultat, se formează două macrofaze: lichidă şi g., ultima păstrînd forma vasului. Sinereza se datorează faptului că în momentul formării g. sistemul nu este în echilibru şi că acesta continuă să se stabilească. În cazul g. provenite de la soli liofobi, are loc recristalizarea, iar pentru cele provenite din soluţii de polimeri continuă formarea legăturilor între macromolecule, ceea ce produce micşorarea volumului g. Sinereza nu este caracteristică numai g. care au ca mediu de dispersie apa, ci şi celor care au ca mediu de dispersie un lichid organic. Limita spre care tinde volumul g. în sinereză depinde de concentraţia sa: sinereza este cu atît mai puternică, cu cît concentraţia mediului de dispersie în g. iniţial este mai mare, fără a fi o dependenţă definită între viteza de sinereză şi concentraţia g. iniţial. Ridicarea uşoară a temperaturii ajută sinereza, uşurînd mişcarea moleculară. Dacă temperatura se ridică mult, g. se transformă în soluţie. Presiunea externă favorizează totdeauna sinereza. Fenomenul de sinereză este foarte important în biologie, medicină, procese tehnologice.

După natura mediului de dispersie, g. se clasifică în: g. cu mediu de dispersie lichid, numite **liogeluri** (apă — hidrogeluri, lichide organice — organogeluri, topituri — pirogeluri); g. cu mediu de dispersie gazos, numite **xerogeluri** (aer — aerogeluri) şi g. cu mediu de dispersie cristalin, **cristalogeluri.**

G. şi procesele de gelifiere sînt importante în medicină şi biologie, plantele şi animalele fiind constituite în cea mai mare parte din geluri. Gelifierea soluţiilor de polimeri este de mare importanţă în procesele tehnologice: prepararea pastelor, producerea fibrelor artificiale, industria alimentară şi a pîinii etc.

GENERATOR DE ABUR (pentru centrale nuclearoelectrice). Schimbător de căldură de suprafaţă dintr-o centrală nucleară electrică (CNE), care realizează transferul căldurii generate prin fisiune în reactorul nuclear, căldură preluată de un agent termic pentru producerea aburului cu care se alimentează o turbină cu abur. **G. de a.** este principalul element de legătură dintre circuitul primar al reactorului nuclear (la reactoarele răcite cu apă sub presiune sau gaze) sau dintre circuitul intermediar (la reactoarele răcite cu metale topite) şi circuitul secundar sau de forţă al CNE.

Principala particularitate a g. de a. din instalaţiile energetice nucleare constă în

Scanned with OKEN Scanner

realizarea unei separări absolut sigure a celor doi agenți termici în aparat, unul față de celălalt, și în etanșarea perfectă a circuitului agentului primar, avînd în vedere că acesta, datorită trecerii lui prin reactor, devine radioactiv. Într-o CNE **g. de a.** este (împreună cu reactorul nuclear) cel mai important aparat de schimb de căldură și unul din echipamentele vitale ale centralei.

Clasificarea **g. de a.** se poate face, luînd în considerare mai multe criterii.

— *După configurația suprafeței de schimb de căldură.* Este cea mai generală clasificare, și anume, din punctul de vedere al dispunerii constructive a suprafețelor de încălzire (Fig. G.26).

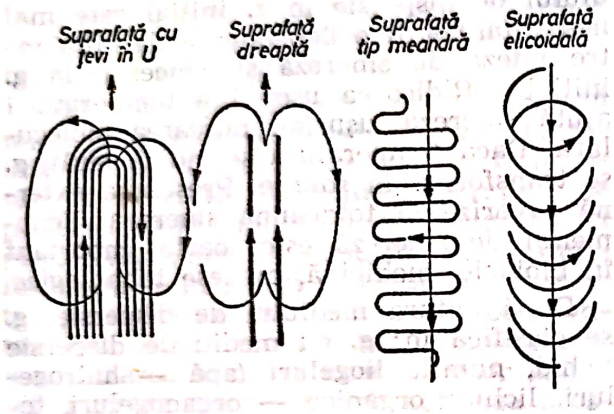


Fig. G.26. Formele principale de alcătuire a suprafeței de încălzire din țevi la generatoarele de abur.

G. de a. cu țevi în U a fost derivat din conceptul clasic de schimbător de căldură, utilizat de mult timp în industria chimică și în centralele termoelectrice clasice. Aparatul are, de regulă, o placă tubulară în care sînt introduse țevile în formă de U, fapt care permite preluarea dilatărilor termice și, de asemenea, o proiectare simplă și compactă. Agentul primar circulă prin interiorul țevilor, acesta fiind cazul **g. de a.** pentru reactoare cu apă ușoară sub presiune (PWR) sau cu apă grea sub presiune (PHWR); fierberea agentului secundar are loc în spațiul dintre țevi, circulația acestuia putînd fi naturală sau forțată. Fasciculul de țevi în U poate fi poziționat vertical sau orizontal. **G. de a.** vertical cu țevi în U, cu circulație naturală reprezintă tipul cel mai des întîlnit.

G. de a. cu suprafața de încălzire dreaptă este un aparat cu țevi paralele drepte, avînd axele paralele cu direcția de curgere a agentului primar care poate curge prin sau printre țevi. Folosirea unor plăci de distanțare și suport a țevilor necesită un pas mai mare între țevi. La **g. de a.** cu agenți primari lichizi acest dezavantaj este redus prin turbulența lichidelor, iar la generatoarele de abur cu agenți primari gazoși prin folosirea țevilor cu nervuri. **G. de a.** cu suprafață de încălzire dreaptă permit cea mai bună utilizare a volumului constituit din mantaua aparatului.

G. de a. cu suprafața de încălzire tip meandră conține lungimi egale de țevi drepte, plasate transversal pe direcția de curgere a agentului primar, legate la capete prin îndoire sau sudură pentru a obține un ecran plan de țevi. Ecranele sînt așezate unele peste altele pentru a forma rînduri; ansamblul format alcătuiește o suprafață de schimb de căldură tip meandră plană. Datorită problemelor de optimizare a suprafețelor de schimb de căldură, țevile din ecrane trebuie să aibă uneori pași mai mari. Acest dezavantaj este parțial compensat în cazul **g. de a.** cu agenți primari gazoși prin utilizarea țevilor cu nervuri. Coturile ecranelor plane reprezintă locul cu cele mai frecvente defecte.

G. de a. cu suprafața de schimb de căldură elicoidală are țevile îndoite sub forma unor spirale. De regulă, cîteva spirale cu același diametru al țevii, dar cu începuturi ale spiralelor diferite sînt grupate împreună și formează un cilindru de spirale. Mai mulți cilindri de acest fel sînt, apoi, plasați unul în altul, formînd un „cuib de tuburi". Dispunerea elicoidală permite: intensificarea schimbului de căldură, suspendarea ușoară a țevilor, compensarea dilatărilor termice, utilizarea bună a spațiilor cilindrice. La **g. de a.** cu agenți primari gazoși, acestea curg prin exteriorul țevilor în lungul axului cilindrului, iar la **g. de a. cu** agent primar apă sub presiune, aceasta circulă prin interiorul țevilor elicoidale.

— *După natura agenților primari,* se deosebesc: generatoare apă-apă, gaze-apă, metale topite-apă, lichide organice-apă, săruri topite-apă.

— *După poziția constructivă,* se deosebesc **g. de a.** verticale și orizontale.

G. de a. verticale au suprafața de schimb de căldură dispusă vertical, intrarea, respectiv ieșirea agentului primar făcîndu-se fie pe la partea inferioară printr-o placă tubulară, fie printr-un colector cilindric vertical coaxial cu mantaua aparatului. În zona plăcii tubulare sau a colectorului cilindric apar diferențe importante de temperatură și presiune între agenții termici, ceea ce face ca aceste elemente să fie foarte puternic solicitate me-

Scanned with OKEN Scanner

canic. Îmbinarea țevilor care alcătuiesc suprafața de schimb de căldură cu placa tubulară sau colectorul cilindric trebuie realizată cu deosebită grijă pentru a asigura etanșeitatea circuitului primar. Deasupra suprafeței de schimb de căldură există dispozitivele de reținere a umidității aburului sub formă de cicloane, plăci profilate sau jaluzele și plase de sîrmă din oțel inoxidabil.

G. de a. orizontale au țevile suprafeței de schimb de căldură dispuse într-un tambur orizontal în care are loc formarea aburului. Pentru intrarea și ieșirea agentului primar se prevăd colectoare separate. Deasupra nivelului liber în tambur se instalează dispozitivele de reținere a umidității din aburul produs. Din punct de vedere istoric, **g. de a.** orizontale au fost primele folosite pentru CNE tip PWR.

Comparația celor două tipuri de **g. de a.** arată următoarele:

— construcția generatoarelor verticale este mult mai compactă datorită plăcii tubulare; ea permite o mai bună așezare în clădirea reactorului, dar ridică mai multe probleme tehnologice.

— La generatoarele verticale, circulația naturală este mai bine asigurată decît la cele orizontale, datorită înălțimii mai mari a coloanei de apă.

— Generatoarele orizontale dispun de un volum disponibil pentru amplasarea instalației de separare a umidității aburului mai mare decît generatoarele verticale. Aceasta permite folosirea unor dispozitive de separare mai puțin complicate decît la generatoarele verticale, unde problema separării trebuie rezolvată într-un volum disponibil mai mic.

— Transferul de căldură este mai dezavantajos la țevile orizontale față de cele verticale, ceea ce impune condiții restrictive suplimentare pentru fluxul maxim de căldură la generatoarele orizontale față de cele verticale.

— În cazul regimurilor de pornire sau la o schimbare de sarcină, generatoarele orizontale se deformează prin încovoiere, ceea ce produce fluctuații în nivelul de apă, cu perturbarea circulației naturale în locul cu nivel de apă mai scăzut; acest dezavantaj este foarte important pentru o exploatare sigură. În concluzie, **g. de a.** verticale reprezintă, cu ajutorul unei tehnologii de execuție evoluate, o soluție superioară tehnic și economic generatoarelor orizontale, fiind aparatele exclusiv folosite astăzi în energetica nucleară.

— *După sistemul și locul de separare a umidității.* În general, toate **g. de a.** folosesc sisteme complexe de separare a umidității în care se combină separarea plană (jaluzele, plase) cu cea centrifugală (cicloane). Uneori, în generatoarele orizontale se folosesc doar separatoare cu jaluzele datorită suprafeței mari de separație disponibile, dar aparatele mari din această categorie sînt prevăzute atît cu separatoare plane, cît și centrifugale. După locul separării umidității, se deosebesc generatoare cu separarea în același corp cu producerea aburului (cazul tuturor aparatelor verticale și al majorității aparatelor orizontale) sau în corpuri diferite (cazul unor aparate orizontale, în special din aplicațiile navale, datorită avantajului oferit de această dispoziție pentru adaptarea ușoară a generatorului orizontal la variații mari de sarcină).

G. de a. pentru CNE tip PWR și PHWR. În figura G.27 se prezintă schemele termotehnice (schema circuitului primar, diagrama temperatură t — sarcina termică Q, diagrama temperatura absolută T — entropie s) ale **g. de a.** pentru CNE cu două circuite cu apă ușoară sau grea sub presiune. Dintre cele trei variante de scheme termice ale circuitului primar pentru reactoarele cu apă sub presiune cea din figura G.27*a* corespunde g. de a. supraîncălzit (nivelul parametrilor $p = 65$

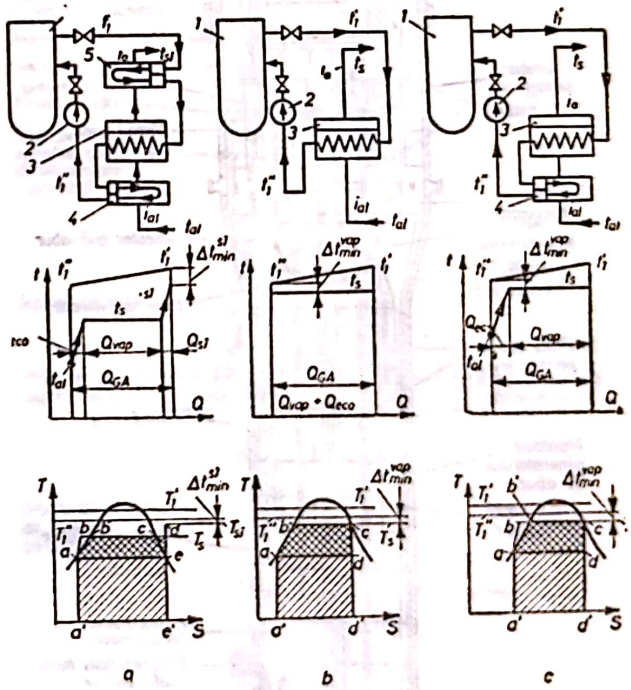


Fig. G.27. Schemele și diagramele termice ale generatoarelor de abur pentru centrale nucleare electrice cu două circuite, cu reactoare cu apă sub presiune:

a — generator de abur cu supraîncălzitor și economizor (distinct); *b* — generator de abur fără supraîncălzirea aburului și fără economizor; *c* — generator de abur fără supraîncălzirea aburului, cu economizor; *1* — reactor nuclear; *2* — pompă de circulație; *3* — vaporizator; *4* — economizor; *5* — supraîncălzitor.

bar, $t_s = 280{,}8°C$, $t_{si} = 300°C$), iar schemele din figura G.27 *b* și *c* generatoarelor de abur saturat uscat (nivelul parametrilor $p = 64$ bar, $t_s = 278°C$). Presiunea agentului primar este cuprinsă în intervalul 100—170 bar, temperatura maximă este $t_1' = 310 \ldots 320°C$, iar răcirea acestuia în generator este $t_1' - t_1'' = 30 \ldots 45°C$. Rezultă, astfel, un debit mare de agent primar, puterea de pompare corespunzătoare reprezentînd 2—2,5% din puterea la bornele generatorului electric. Din punct de vedere termodinamic, schema din figura G.27 *a* este cea mai bună, ea fiind însă puțin utilizată încă datorită tehnologiei pretențioase de execuție a **g. de a.** supraîncălzit. Schema cea mai folosită astăzi este cea din figura G.27 *c*, corespunzînd generatoarelor de abur saturat cu economizor integrat.

O soluție tipică pentru un **g. de a.** saturat, vertical, cu circulație naturală, cu economizor integrat, folosind ca agent primar apa ușoară sau grea sub presiune este arătată în figura G.28. În partea de jos se află corpul **g. de a.**, format dintr-o manta cilindrică de diametru mai mic care închide fasciculul de țevi în formă de U, prins la ambele capete în placa tubulară. Deasupra corpului se așază, cu ajutorul unei porțiuni de manta tronconice, domul sau tamburul separator al generatorului, în interiorul căruia se găsește sistemul de separare a umidității. Prima treaptă de separare (centrifugală) formează corp rigid și se sprijină pe mantaua de dirijare a circulației, creîndu-se cu peretele mantalei **g. de a.** un spațiu inelar pentru coborîrea apei de alimentare către suprafața de schimb de căldură a țevilor. În figură se observă existența unor plăci suport pentru țevi, care îmbunătățesc circulația printre țevi și rigidizează fasciculul și a unor bare antivibrație la partea curbată a țevilor, care previn vibrația fasciculului primar produsă de curgerea fluidelor din circuitul primar sau secundar (vibrații induse de pompe sau de curgerea propriu-zisă).

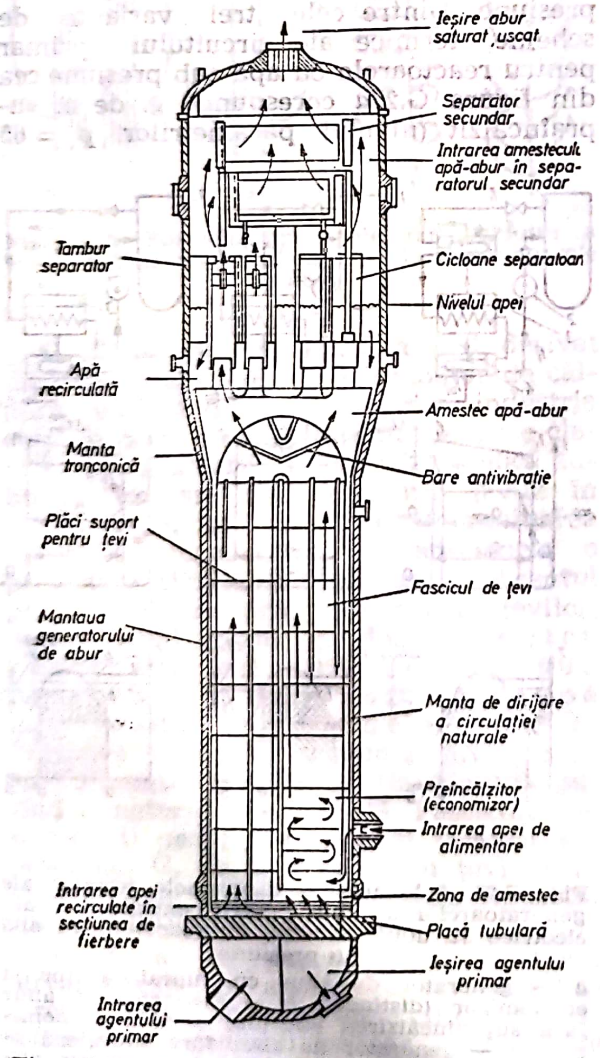


Fig. G.28. Construcție tipică de generator de abur saturat, cu circulație naturală, vertical, cu economizor.

Principalele date funcționale și constructive ale unui astfel de **g. de a.** saturat pentru o CNE tip PHWR-600 Candu sînt următoarele: agentul primar—apă grea, cu temperatura $t_1'/t_1'' = 310/266°C$, presiunea 100 bar; debitul 6 840 t/h; agentul secundar — apă-abur saturat, cu presiunea 47 bar (temperatura $t_s = 260°C$), debitul de abur 750 t/h; 4 generatoare de abur/reactor nuclear; înălțimea totală a aparatului 19,87 m; suprafața de schimb de căldură 3 600 m^2, alcătuită din 3550 țevi U cu diametrul exterior 15,9 mm și grosimea peretelui 1,12 mm; mantaua generatorului cu diametrul 2 660 mm și grosimea peretelui 49,3 mm; tamburul superior cu diametrul 4 100 mm și grosimea peretelui 72,9 mm; diametrul plăcii tubulare 2 770 mm și grosimea 390 mm; materialul țevilor-oțel inoxidabil Incoloy-800; greutatea unui aparat gol 226 t.

Scanned with OKEN Scanner

În figura G.29, este prezentat un generator de abur vertical cu țevi elicoidale, pentru reactoare VVER-1000, care înlătură total problema plăcii tubulare, cu ajutorul a două colectoare 10 așezate coaxial în centrul aparatului; țevile elicoidale sînt racordate la cele două colectoare. Apa de alimentare intră prin racordul *3*, cu ajutorul unui tor de distribuție, fiind repartizată direct în spațiul inelar descendent dintre mantalele *8* și *9*, în care are loc și o ușoară preîncălzire a apei de alimentare. **G. de a.** dispune atît de separatoare ciclon în două trepte, cît și de separatoare cu jaluzele, ceea ce asigură un titlu al aburului la ieșirea din aparat de peste 99%. Construcția este, de asemenea, foarte echilibrată din punctul de vedere al dilatărilor termice care apar în funcționarea unui astfel de aparat. Centrala nucleară este echipată cu patru generatoare de acest tip, fiecare cu debitul de abur saturat produs de 1469 t/h, la 64 bar (t_s=278°C); temperatura agentului primar este t_1'/t_1'' = =322/289°C, suprafața de schimb de căldură a aparatului este de 5 200 m², iar greutatea aparatului gol de 265 t.

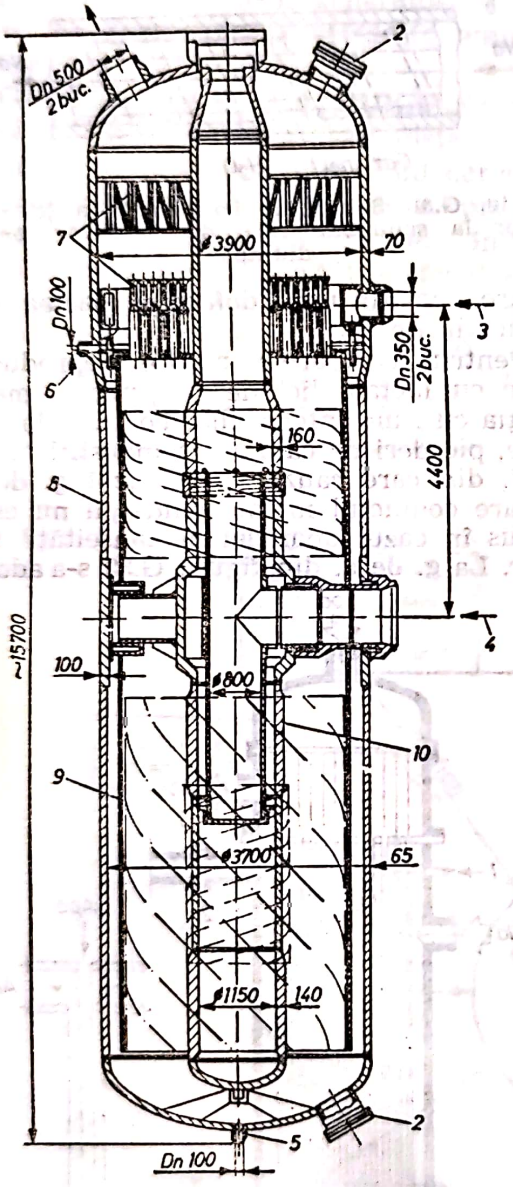


Fig. G.29. Generator de abur vertical cu țevi elicoidale cu colector cilindric (fără placă tubulară), cu circulație naturală, pentru reactoare VVER-1000;

1 — ieșirea aburului saturat uscat; *2* — gură de vizitare; *3* — intrarea apei de alimentare; *4* — intrarea agentului încălzitor primar; *5* — racord pentru purjă periodică; *6* — racord pentru purjă continuă; *7* — dispozitive de separare a umidității din abur; *8* — mantaua generatorului de abur; *9* — manta de dirijare a circulației naturale; *10* — colectoare pentru agentul primar (cotele în mm.).

G. de a. supraîncălzit, vertical, cu țevi drepte, cu circulație forțată este arătat în figura G.30. Circulația agenților termici în interiorul **g. de a.** cu circulație forțată este următoarea: agentul primar intră pe la partea superioară a aparatului și coboară prin fasciculul de țevi prinse între două plăci tubulare rigi-

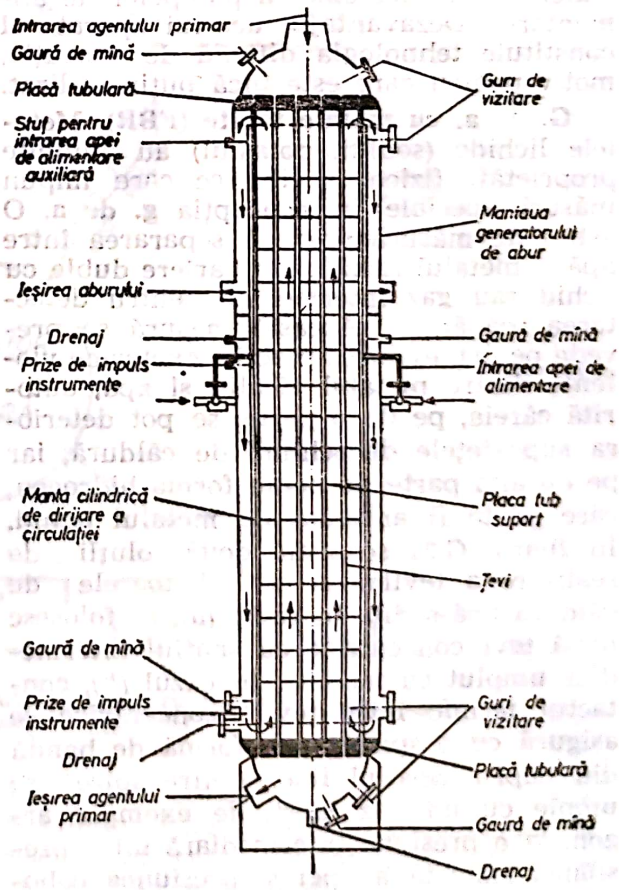


Fig. G.30. Generator de abur supraîncălzit, cu circulația forțată.

de. Apa de alimentare injectată sub formă pulverizată în spațiul inelar dintre corpul generatorului de abur și mantaua de dirijare a circulației este adusă la saturație de către 1/3 din aburul produs la partea superioară a generatorului, care se amestecă cu picăturile injectate de torul de distribuție. Restul de 2/3 din debitul de abur părăsește generatorul, îndreptîndu-se spre turbină. După trecerea prin spațiul inelar, apa la saturație intră prin ferestre practicate în mantaua de dirijare deasupra plăcii tubulare inferioare, în spațiul dintre țevi al fasciculului tubular, unde se transformă în abur ușor supraîncălzit. Pentru o centrală nucleară cu puterea de 800 MWe sînt prevăzute două generatoare de abur, fiecare cu un debit de agent primar de 2 530 t/h; parametrii aburului produs sînt 65 bar, 298°C (18°C supraîncălzire); înălțimea totală a aparatului este de 20,1 m, iar diametrul mantalei de 3 902 mm. Avantajele principale ale acestui tip de aparat sînt următoarele: îmbunătățirea randamentului ciclului termic cu 1—2%, reducerea cheltuielilor de întreținere a turbinei, eliminarea separatoarelor de umiditate, îmbunătățirea circulației naturale datorită țevilor drepte (importantă în cazul accidentului de pierdere a puterii centralei sau de defectare a pompelor de alimentare). Dezavantajul acestui aparat îl constituie tehnologia dificilă de execuție, motiv pentru care este încă puțin utilizat.

G. de a. cu metale topite (FBR). Metalele lichide (sodiul, potasiul) au anumite proprietăți fizice și chimice care impun măsuri speciale în concepția **g. de a.** O astfel de măsură prevede separarea între apă și metalul lichid prin bariere duble cu lichid sau gaz intermediar pentru detectarea scăpărilor. Această măsură se prevede pentru evitarea reacției exoterme violente dintre metalul alcalin și apă, datorită căreia, pe de o parte, se pot deteriora suprafețele de schimb de căldură, iar pe de altă parte, se poate forma hidrogen, care poate fi antrenat de metalul lichid. În figura G.31 se arată două soluții de realizare a țevilor la schimbătoarele de căldură apă-sodiu. În cazul *(a)*, se folosesc două țevi concentrice cu spațiul intermediar umplut cu mercur. În cazul *(b)*, contactul termic între țevile concentrice se asigură cu o spirală sub formă de bandă din cupru. Spațiul liber dintre spire se umple cu un gaz inert, de exemplu argon, la o presiune intermediară între presiunea ridicată a apei și presiunea coborîtă a sodiului. În funcție de modificarea presiunii gazului inert, se dau indicații

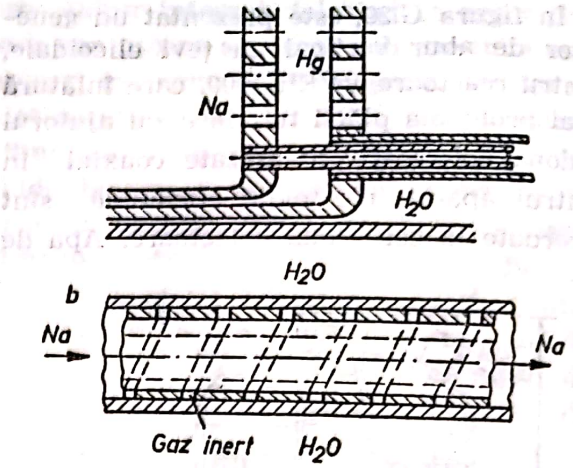


Fig. G.31. Soluții de construcție a țevilor la schimbătoarele de căldură sodiu-apă.

despre apariția unui defect pe partea de sodiu sau de apă.

Pentru reactoarele rapide reproducătoare cu metale lichide de putere mare soluția cu fluid intermediar conduce la volume, pierderi de căldură și investiții prea mari, din care cauză s-a realizat **g. de a.** la care contactul metal-lichid-apă nu este exclus în cazul apariției neetanșeității țevilor. La **g. de a.** din figura G.32 s-a adop-

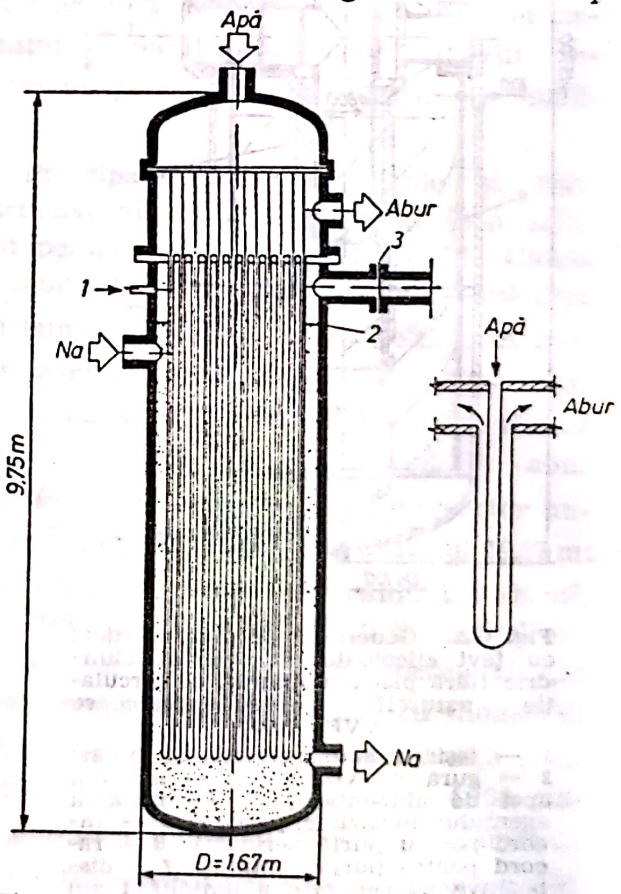


Fig. G.32. Generator de abur cu sodiu topit pentru CNE tip FBR:
1 — intrarea gazului inert; *2* — nivel sodiu; *3* — placă de presiune de siguranță.

tat astfel sistemul de țevi Field sau țevi tip baionetă. Vasul generatorului conține o pernă de azot pentru ca sodiul, la spargerea țevilor, să nu reacționeze în contact cu oxigenul din apă; în cazul contactului sodiului cu apa, produsele reacției se evacuează într-un separator ciclon, unde substanțele solide se reține, iar cele gazoase se filtrează și se elimină apoi la coș în mediul ambiant. În cazul generatorului de abur din figura G.32, circulația ambelor fluide este forțată.

GENERATOR DE CĂLDURĂ (Sin.: **Generator termic**). Aparat sau instalație ce servește la încălzirea unui fluid oarecare. De cele mai multe ori, **g. de c.** produce căldură prin înmagazinarea ei într-un agent termic care asigură transferul acesteia la locul de utilizare. Se folosesc, de obicei, pentru alimentarea rețelelor termice, pentru producerea de vapori cu parametrii ridicați sau pentru încălzirea și climatizarea spațiilor industriale sau de locuit. Un exemplu tipic de **g. de c.** este cazanul de apă caldă.

În funcție de natura energiilor primare utilizate pentru obținerea căldurii, procesele generatoare de căldură pot fi clasificate ca în figura G.33.

GENERATOR DE GAZE CU PISTOANE LIBERE. Mașină termică de tip hibrid, compusă dintr-o combinație între un motor diesel în doi timpi și un compresor cu piston.

G.g.p.l. au apărut și s-au dezvoltat din necesitatea de a îmbina avantajele motoarelor cu ardere internă cu cele ale instalației de forță cu turbină cu gaze. Motorul cu ardere internă este superior, din punctul de vedere al randamentului termodinamic, instalației de forță cu turbină cu gaze, arderea în el realizîndu-se la temperaturi de 1 700—1 900°C în raport cu valori de 700—900°C, corespunzătoare instalațiilor cu turbine cu gaze, respectiv temperatura sursei calde a ciclului termodinamic al motorului cu ardere internă este substanțial mai ridicată. De asemenea, se menționează faptul că în instalațiile cu turbine de gaze o fracțiune importantă din puterea turbinei (40—60%) este consumată pentru antrenarea compresorului de aer. Motoarele cu ardere internă prezintă, însă, dezavantajul necesității de transformare a mișcării alternative a pistonului în mișcare de rotație a arborelui cotit, dezavantaj inexistent la instalațiile cu turbine cu gaze, unde transformarea energiei poten-

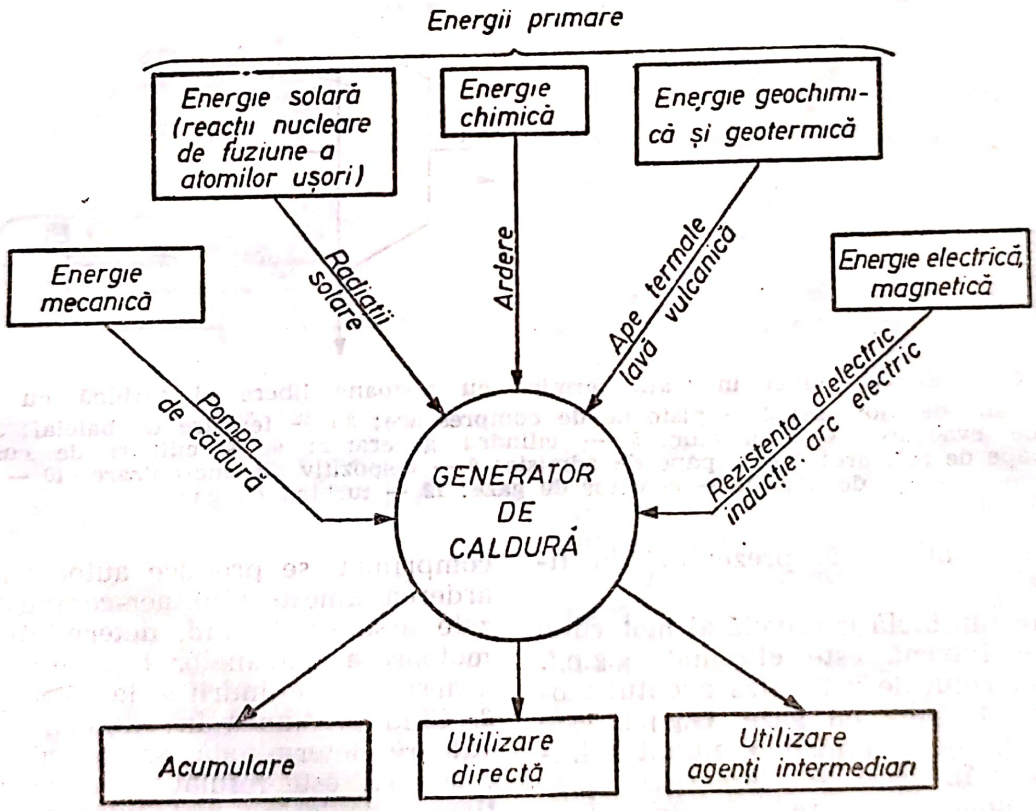


Fig. G.33. Clasificarea energiilor primare utilizate pentru încălzirea unui agent termic într-un generator de căldură.

ţiale a gazelor în lucru mecanic se realizează prin rotaţia continuă a arborelui turbinei.

Pentru a combina avantajele celor două maşini termice, au fost propuse multe soluţii tehnice, dintre care se evidenţiază maşina termică cu pistoane libere, compusă dintr-un **g.g.p.l.** şi o turbină cu gaze. Mişcarea celor două grupe de pistoane este sincronizată cu ajutorul mecanismului *9*.

Principiul de funcţionare al instalaţiei este următorul: Se consideră pistoanele *1* la punctul mort interior (distanţa între pistoane este minimă). Prin injecţia combustibilului de către injectorul *4* în aerul

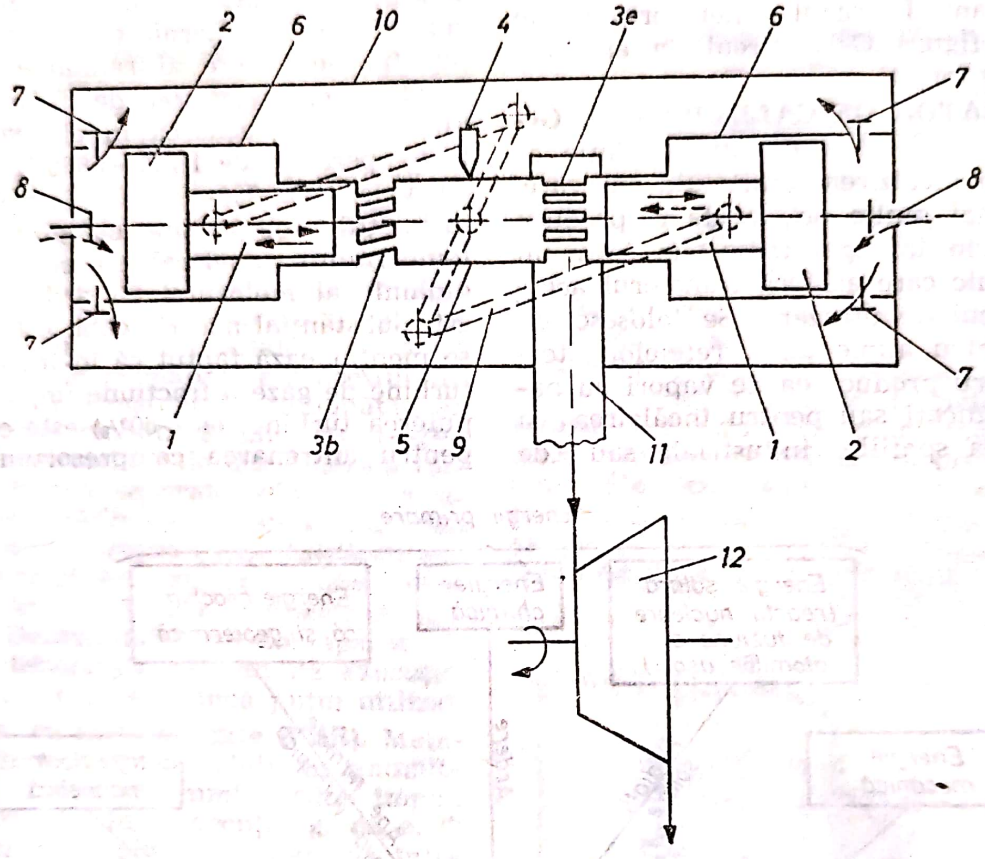


Fig. G.34. Schema unei instalaţii termice cu pistoane libere şi turbină cu gaze: *1* — pistoane de motoare; *2* — pistoane de compresoare; *3b* — ferestre de baleiaj; *3e* — ferestre de evacuare; *4* — injector; *5* — cilindru generator; *6* — cilindri de compresor; *7* — supape de refulare; *8* — supape de admisie; *9* — dispozitiv de sincronizare; *10* — rezervor de aer; *11* — colector de gaze; *12* — turbină cu gaze.

Schema instalaţiei este prezentată în figura G.34.

Mecanismul bielă-manivelă al motorului cu ardere internă este eliminat, **g.g.p.l.** avînd doar rolul de a furniza agentul motor pentru turbina cu gaze. **G.g.p.l.** este compus dintr-un cilindru *5*, numit cilindru motor, în care se deplasează pistoanele motoare *1*, legate rigid de pistoanele compresoare *2*. În cilindrul *5*, sînt practicate ferestrele de baleiaj *3b* şi cele de evacuare *3e*. În zona centrală a cilindrului *5*, este montat injectorul de combustibil *4*. Pistoanele *2* se deplasează în cilindrii compresori *6*. Intrarea şi ieşirea aerului în şi, respectiv, din cilindrii *6* sînt controlate de supapele de admisie *8*, şi, respectiv, de supapele de refulare *7*. comprimat, se produce autoaprinderea şi arderea amestecului aer-combustibil. Gazele arse se destind, determinînd cursa motoare a pistoanelor *1* şi de comprimare a aerului în cilindrii *6* de către pistoanele *2*. Cînd presiunea în cilindrii *6* atinge o valoare determinată, se deschid supapele *7* şi aerul este refulat în rezervorul *10*. În timpul deplasării pistonului *1* din dreapta, acesta deschide ferestrele de evacuare *3e* şi gazele arse părăsesc cilindrul generator *5*, trecînd în colectorul de gaze *11* şi, apoi, în turbina cu gaze *12* pe care o acţionează. Cînd pistonul *1* din stînga deschide ferestrele de baleiaj *3b*, aerul comprimat pătrunde în cilindrul *5* pe care îl spală de gazele arse reziduale. Prima cursă a pistoanelor se încheie în punctele moarte exterioare (distanţa minimă faţă de

culasele cilindrilor compresori). A doua cursă a pistoanelor (cursa de comprimare a aerului în cilindrul generator *5*) se produce sub acțiunea aerului comprimat din cilindrii *6*, care are rolul unui tampon elastic (La unele tipuri de instalații cu pistoane libere și turbină cu gaze cursa de comprimare a aerului în cilindrul generator se realizează prin turbosupraalimentare, respectiv prin aer comprimat de un compresor antrenat de o turbină cu gaze, acționată la rîndul ei printr-o priză de gaze arse deviată din colectorul de gaze *11*). Cînd presiunea în cilindrii compresori *6* scade la valoarea corespunzătoare presiunii atmosferice, supapa de admisie *8* se deschide și în cilindru pătrunde aer proaspăt.

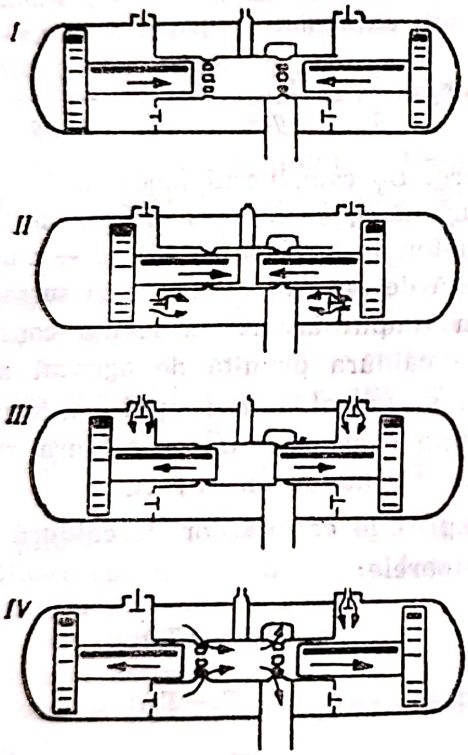


Fig. G.35. Principiul de funcționare a unui generator de gaze, cu pistoane libere:

I — începutul cursei de comprimare a aerului în cilindrul generator (pistoanele se găsesc în punctele moarte exterioare; aerul este comprimat în tampoanele elastice); *II* — sfîrșitul cursei de comprimare în cilindrul generator (pistoanele se găsesc în punctele moarte interioare; aerul a fost refulat în rezervorul de baleiaj; urmează injecția combustibilului în cilindrul generator); *III* — cursa de destindere a gazelor în cilindrul generator (aerul din spațiile tampon este comprimat, realizîndu-se energia elastică de readucere a pistoanelor; simultan se realizează și admisia aerului în cilindrul compresor); *IV* — schimbarea încărcăturii cilindrului generator de agent de baleiaj.

Ciclul reîncepe cînd pistoanele ajung în punctul mort interior.

Perioadele de lucru ale **g.g.p.l.**, conform unei scheme simplificate, sînt reprezentate în figura G.35.

Avantajele mașinilor termice cu pistoane libere în raport cu motoarele cu ardere internă și turbinele cu gaze, sînt următoarele:

— randament efectiv comparabil cu al motoarelor cu ardere internă și, în unele cazuri, chiar mai mare, deoarece lipsa mecanismului bielă-manivelă conduce la scăderea apreciabilă a pierderilor prin frecare; deci, la un randament mecanic mai mare, în raport cu turbinele cu gaze; randamentul efectiv este net superior;

— puteri mai mari pe unitate de agregat în raport cu motoarele diesel, datorită posibilităților de realizare a unor presiuni mai mari a gazelor în cilindrul motor (la motoarele diesel presiunea maximă a gazelor în cilindru este limitată de presiunea specifică în lagărele arborelui cotit și ale bielei, în timp ce la **g.g.p.l.** această limitare nu există);

— preț de cost mai mic, determinat de lipsa arborelui cotit și a bielelor;

— echilibraj perfect în comparație cu motoarele cu ardere internă și, în consecință, posibilitatea de montare pe fundații ușoare și simple;

— dimensiuni de gabarit reduse, în raport cu instalațiile clasice, datorită lipsei camerei de ardere și a compresorului. Turbinele cu gaze dotate cu **g.g.p.l.** au dimnesiuni sensibil mai mici în raport cu turbinele din instalațiile de forță cu camere de ardere, deoarece puterile produse de ele reprezintă puterile efective ale instalațiilor, în timp ce în instalațiile cu camere de ardere, 40—60% din puterea turbinei este consumată pentru antrenarea compresorului de aer;

— **g.g.p.l.** lucrează cu excese de aer reduse în comparație cu instalațiile cu turbine cu gaze, care utilizează excese de aer foarte mari pentru micșorarea temperaturii gazelor arse. Acest fapt conduce atît la micșorarea gabaritelor turbinei propriu-zise acționată de **g.g.p.l.**, cît și la micșorarea dimensiunilor conductelor de aer și gaze ale instalației;

— tehnologii de fabricație și de montaj simplificate în raport cu motoarele diesel, datorită lipsei arborelui cotit, blocului de cilindri și culaselor;

— temperaturile mai joase la intrarea în turbina cu gaze a **g.g.p.l.** (400—500°C) în raport cu instalațiile de turbine cu gaze (700—900°C) permit utilizarea unor materiale mai ieftine pentru paletele turbinei;

Scanned with OKEN Scanner

— independență mărită privind montajul componentelor instalației în raport cu componentele instalațiilor de turbine cu gaze, din punctul de vedere al utilizării în condiții de spațiu limitat, avantaj important în aplicațiile navale.

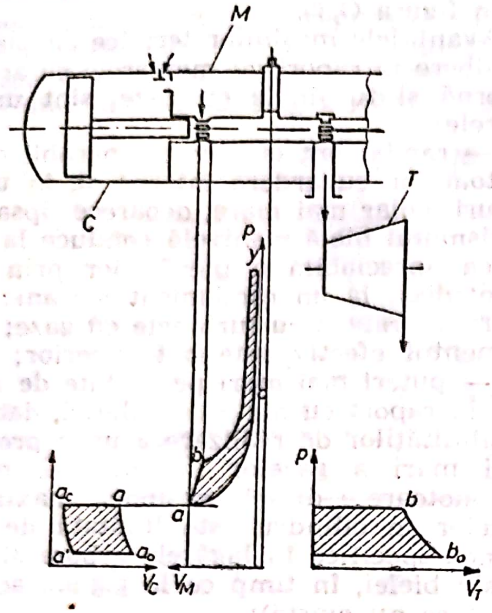


Fig. G.36. Ciclurile termodinamice ideale ale mașinilor termice componente ale instalației cu turbină cu gaze cu pistoane libere.

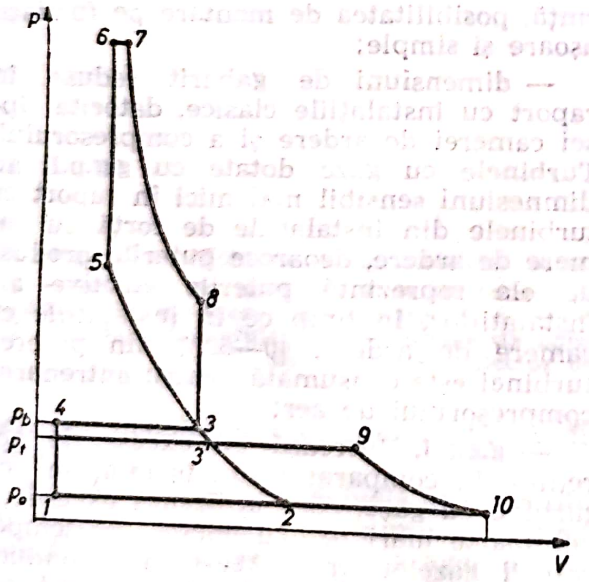


Fig. G.37. Ciclul termodinamic ideal al instalației cu turbină cu gaze cu pistoane libere: p_0 — presiunea mediului ambiant (aspirația în compresor); p_t — presiunea în fața turbinei; p_b — presiunea de baleiaj; 1—2 — admisia aerului în cilindrii compresorului; 2—3 — comprimarea aerului în compresor; 3—4 — refularea aerului în rezervorul de baleiaj; 4—1 — destinderea aerului în compresor; 3'—5 — comprimarea aerului în motor; 5—6 — arderea în motor la v=const.; 6—7 — arderea la p=const.; 7—8 — destinderea în motor; 8—3—3' — evacuarea gazelor din motor; 3'—9 — admisia gazelor în colectorul de gaze; 9—10 — destinderea gazelor în turbina cu gaze.

Ciclurile termodinamice ideale ale celor trei componente ale instalației termice cu pistoane libere (motor, compresor și turbină cu gaze) sînt reprezentate în figura G.36, iar ciclul complex al instalației, obținut prin suprapunerea ciclurilor ideale ale celor trei mașini termice, este reprezentat în figura G.37. Reprezentarea ciclurilor suprapuse, conform acestei figuri presupune că volumul de agent motor care evoluează în cele trei mașini este același și egal cu volumul unui kilogram de fluid.

Randamentul termodinamic al instalației cu turbină cu gaze, cu pistoane libere are expresia:

$$\eta_t = \frac{L_T}{q} = \frac{q_v + q_p - q_r}{q_v + q_p} = 1 - \frac{q_r}{q_v + q_p}$$

în care: L_T este lucrul mecanic dezvoltat de turbină; q — căldura primită de agentul motor de la sursa caldă; q_v — căldura primită de agentul motor de la sursa caldă în timpul arderii la volum constant; q_p — căldura primită de agentul motor de la sursa caldă în timpul arderii la presiune constantă; q_r — căldura cedată de agentul motor sursei reci.

Expresiile cantităților de căldură sînt următoarele:

$$q_v = c_v(T_6 - T_5);$$

$$q_p = c_p(T_7 - T_6);$$

$$q_r = c_p(T_{10} - T_1);$$

unde c_v și c_p sînt căldurile specifice ale fluidului, la volum constant și, respectiv, la presiune constantă, iar T_6, T_5, T_7, T_{10} și T_1 — temperaturile fluidului în punctele corespunzătoare din ciclu.

Înlocuind aceste expresii în relația randamentului termodinamic, rezultă în final:

$$\eta_t = 1 - \frac{\left(\frac{\pi}{\delta}\right)^{\frac{k-1}{k}} \left[\lambda \cdot p_0^k + (k-1)\frac{\delta}{k}\right] - k}{\pi^{\frac{k-1}{k}} \varepsilon^{k-1}[(\lambda-1) + k\lambda(\varphi-1)]},$$

unde:

$\pi = p_3/p_0$ — gradul de creștere a presiunii în compresor;

$\delta = p_9/p_0$ — gradul de destindere a agentului motor în turbină;

k — exponentul adiabatic al transformărilor 2—3; 3—5; 7—8; 9—10;

$\rho = V_7/V_6$ — raportul de destindere al agentului motor în faza arderii izobare;

$\varepsilon = V_3/V_5$ — raportul de comprimare al agentului motor în cilindrul generator.

G.g.p.l. se construiesc în mai multe variante constructive. În figura G.38 sînt prezentate patru scheme de principiu pentru tipurile cele mai utilizate. În raport cu sensul cursei pistonului în timpul baleiajului, **g.g.p.l.** sînt de tipul „spre interior" (Fig. G.38 *a*) sau „spre exterior" (Fig. G.38 *b, c*). Se întîlnesc soluții cu cîte două pistoane (Fig. G.38 *a, b, c*) sau cu un singur piston (Fig. G.38 *d*) Ultima soluție reprezintă o construcție foarte simplă și economică (datorită reducerii numărului de componente și lipsei dispozitivului de sincronizare), însă nu asigură echilibrarea completă a maselor în mișcare.

Aplicațiile mașinilor termice cu pistoane libere cuprind un domeniu foarte larg: tracțiunea feroviară, propulsia navală, tracțiunea autovehiculelor și tractoarelor, precum și acționarea instalațiilor energetice stabile (centrale electrice, stații de pompare).

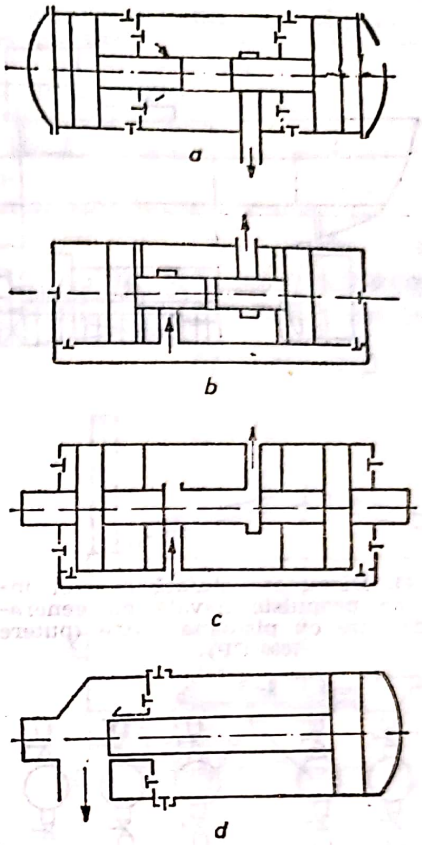


Fig. G.38. Variante constructive de generatoare de gaze cu pistoane libere:
a — generator tip „spre interior" cu contrapistoane; *b, c* — generatoare tip „spre exterior" cu contrapistoane; *d* — generator cu un singur piston.

Un exemplu de locomotivă acționată de o mașină termică cu pistoane libere, avînd puterea de 1 000 CP, este prezentată în figura G.39.

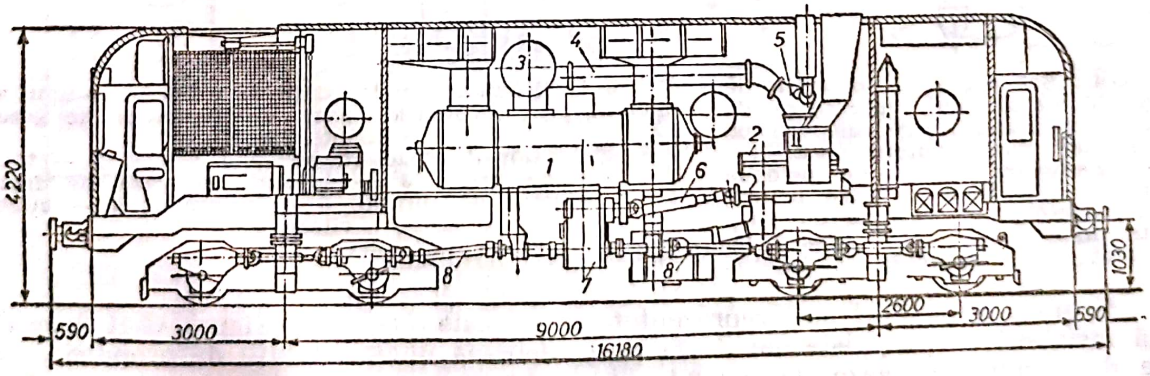


Fig. G.39. Locomotivă cu generatoare de gaze cu pistoane libere, tip „spre interior":
1 — generatoare de gaze cu pistoane libere; *2* — turbine cu gaze; *3* — rezervoare tampon; *4* — conducte de legătură între rezervoarele tampon și turbinele cu gaze; *5* — supape de alimentare a turbinelor; *6* — ax cardanic; *7* — cutie de viteze; *8* — axe cardanice pentru transmiterea mișcării de la cutia de viteze la boghiuri (rotile motoare).

Scanned with OKEN Scanner

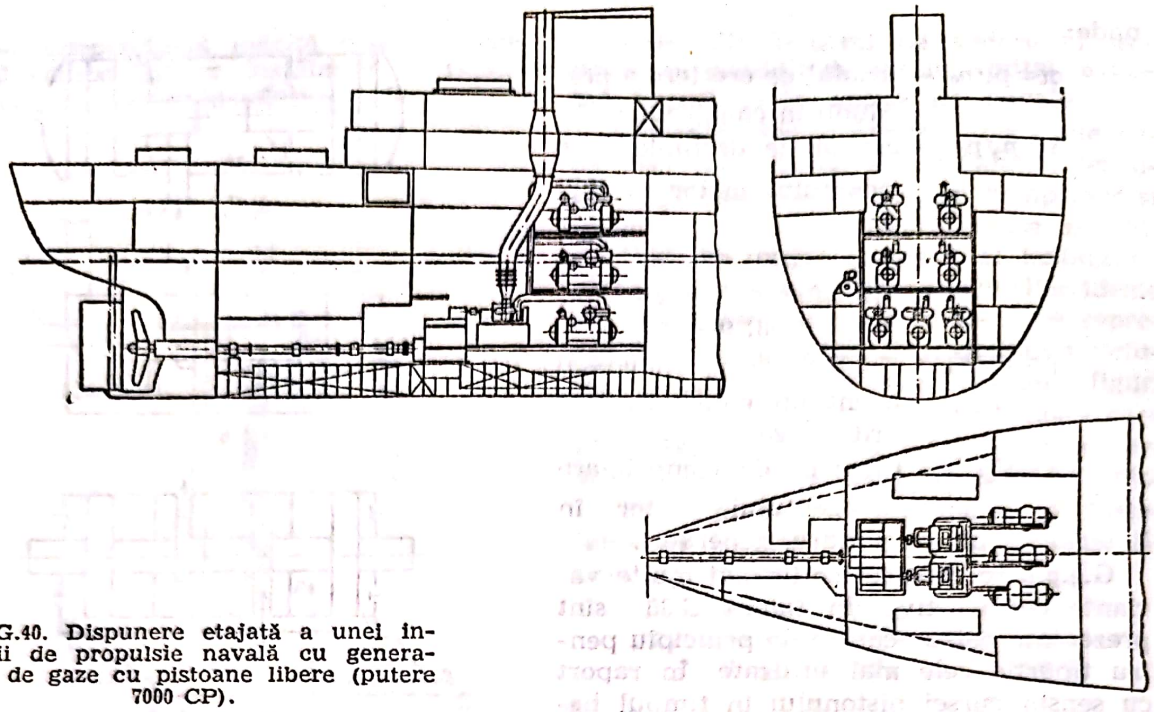


Fig. G.40. Dispunere etajată a unei instalații de propulsie navală cu generatoare de gaze cu pistoane libere (putere 7000 CP).

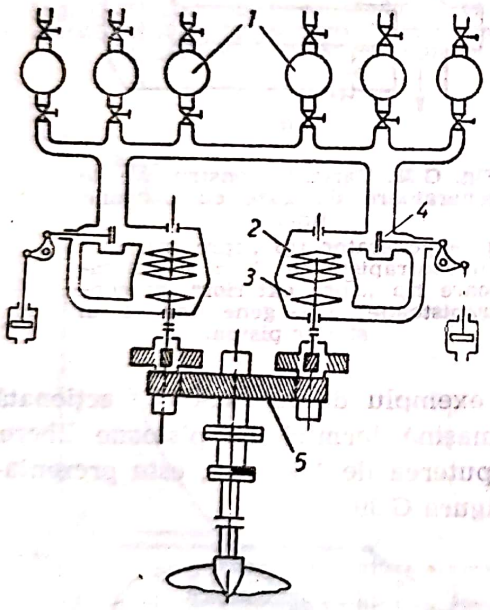


Fig. G.41. Schema unei instalații de propulsie navală cu generatoare de gaze cu pistoane libere, dispuse pe un singur nivel (putere 6000 CP). *1* — generatoare de gaze cu pistoane libere; *2* — turbina cu gaze pentru mers înainte; *3* — turbină cu gaze pentru mers înapoi; *4* — supapă de manevră; *5* — reductor de turație.

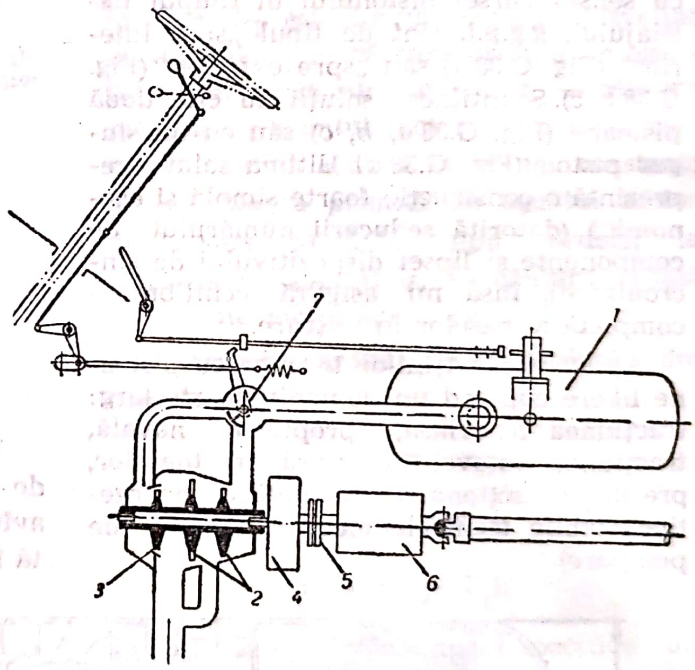


Fig. G.42. Schema unei instalații de acționare a unui autovehicul prin turbină cu gaze, cu generator de gaze cu pistoane libere:
1 — generator de gaze cu pistoane libere; *2* — turbină cu gaze de mers; *3* — turbină cu gaze de frînare; *4* — reductor de turație; *5* — ambreiaj; *6* — cutie de viteze.

În figura G.40 și G.41 sînt reprezentate două instalații de propulsie navală, acționate de turbine cu gaze, cu **g.g.p.l.** Figura G.40 ilustrează dispunerea instalației de propulsie a unei nave de transport de 14 000 tdw. Cele șapte **g.g.p.l.** sînt dispuse în etaje. Puterea totală a instalației este 7 000 CP. Figura G.41 reprezintă schema unei instalații de propulsie, avînd puterea de 6 000 CP, întreaga instalație fiind dispusă în sala mașinilor pe un singur nivel.

Un exemplu de acționare a unui autovehicul prin **g.g.p.l.** este prezentat în figu-

ra G.42. Turbina cu gaze are două regimuri de funcţionare: treapta de acţionare propriu-zisă *2* şi treapta de frînare *3*. De la arborele turbinei puterea se transmite printr-un reductor de turaţie *4* şi un ambreiaj *5* către schimbătorul de viteze *6* şi axul cardanic de acţionare a diferenţialului.

Utilizarea **g.g.p.l.** pentru acţionarea vehiculelor rutiere este limitată de necesitatea introducerii sistemelor de reducere a turaţiei, neeconomice şi voluminoase pentru unităţi mici de transport.

G.g.p.l. sînt utilizate cu eficacitate apreciabilă pentru acţionarea instalaţiilor de turbine cu gaze staţionare (centrale termoelectrice), datorită posibilităţii de grupare a mai multor unităţi, în vederea obţinerii unor puteri mari (30 000—36 000 kW). În figura G.43 este prezentată schema unei centrale termice avînd o putere instalată de 25 000 kW, produsă în 5 turbine cu gaze, acţionate de 34 **g.g.p.l.**

GENERATOR MAGNETOHIDRODINAMIC (MHD). Instalaţie care permite con-

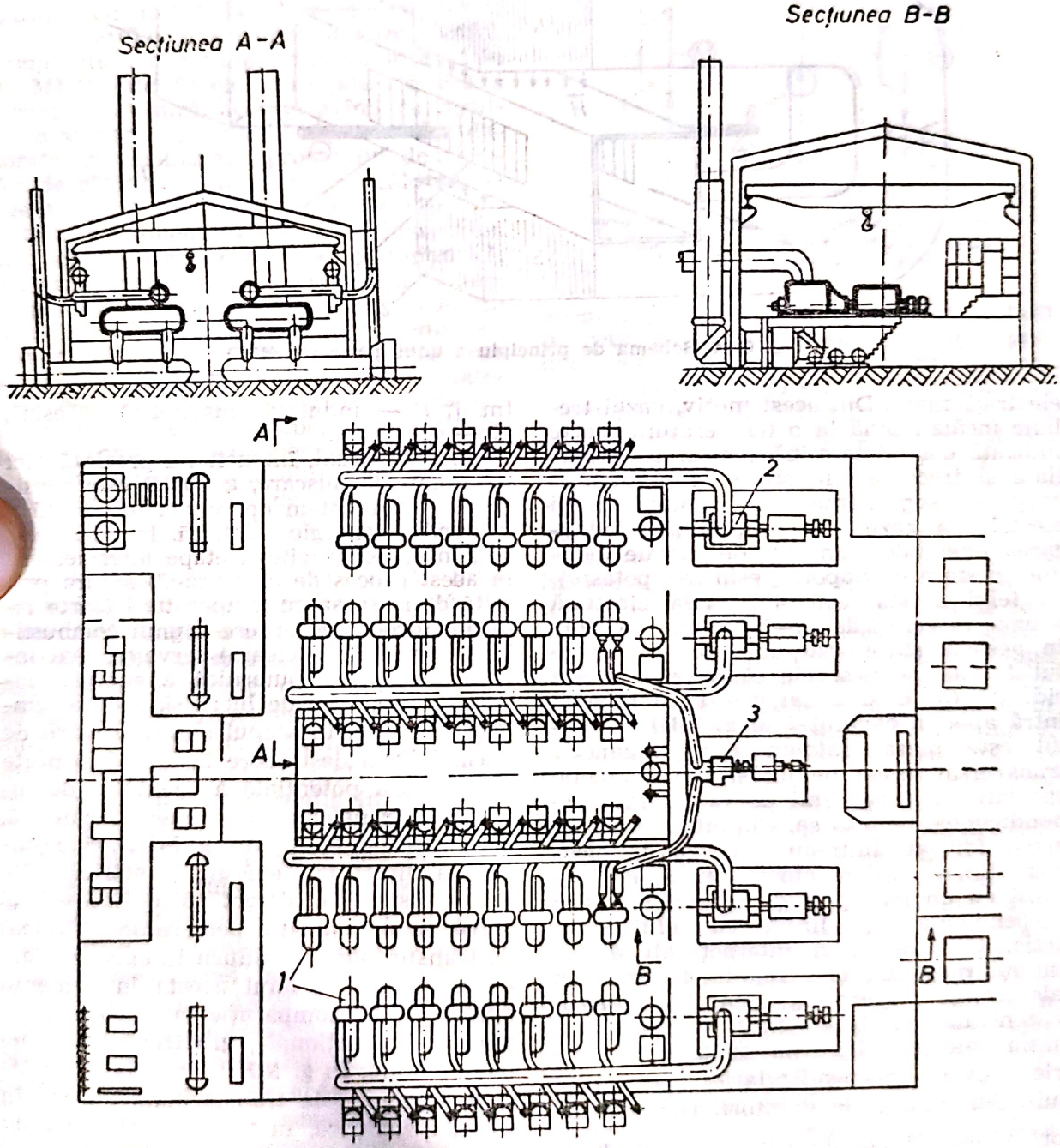


Fig. G.43. Schema unei centrale termoelectrice cu turbine de gaze cu generatoare cu pistoane libere (putere instalată 25.000 kW):
1 — generatoare de gaze cu pistoane libere; *2*, *3* — turbine cu gaze.

versia directă a căldurii în energie electrică prin deplasarea cu viteză foarte mare, a unui fluid în stare de plasmă, într-un cîmp magnetic puternic.

În figura G.44 este prezentat principiul constructiv și de funcționare al **g. MHD.** Ca agent de lucru se utilizează un gaz care trebuie să prezinte conductivitate electrică mare. Din acest motiv, gazul trebuie încălzit pînă la o temperatură foarte indicată care determină ionizarea sa parțială și trecerea în stare de plasmă. O creștere suplimentară a conductivității electrice a gazului se obține prin adăugarea unei mici cantități de metale alcaline în stare de vapori (cesiu sau potasiu). În felul acesta, conductivitatea electrică ajunge la valori de 80—100 ohm/m. Gazul, în această stare, este introdus în ajutajul *1* unde se destinde căpătînd o viteză ridicată (în mod uzual cca 1 000 m/s) și intră apoi în canalul *2* al **g. MHD.** Canalul este plasat într-un cîmp magnetic transversal (creat de un sistem magnetic special) ale cărui linii de forță sînt perpendiculare pe axa sa. Curentul gazos ionizat, format dintr-un amestec de electroni liberi, ioni și atomi neutri, echivalează cu un transport de sarcini electrice perpendiculare pe liniile cîmpului magnetic. Ca urmare a interacțiunii dintre cîmpul magnetic și sarcinile electrice în mișcare, ia naștere, în agentul de lucru, o tensiune electromotoare și apare un curent electric. Direcția curentului electric este perpendiculară pe planul determinat de vectorii corespunzători vitezei de deplasare a gazului $\vec{w}$ și respectiv intensității cîmpului magnetic $\vec{H}$. Curentul electric, generat în acest mod, este cules de electrozii *3*. Puterea specifică a unui **g. MHD** este dată de expresia:

$$P = K \cdot \gamma \cdot w^2 \cdot B^2 \left[\frac{\text{kW}}{\text{kg}}\right],$$

în care: γ este conductivitatea electrică [ohm/m]; w — viteza de curgere a gazului [m/s]; B — inducția magnetică [Tesla]; K — constantă.

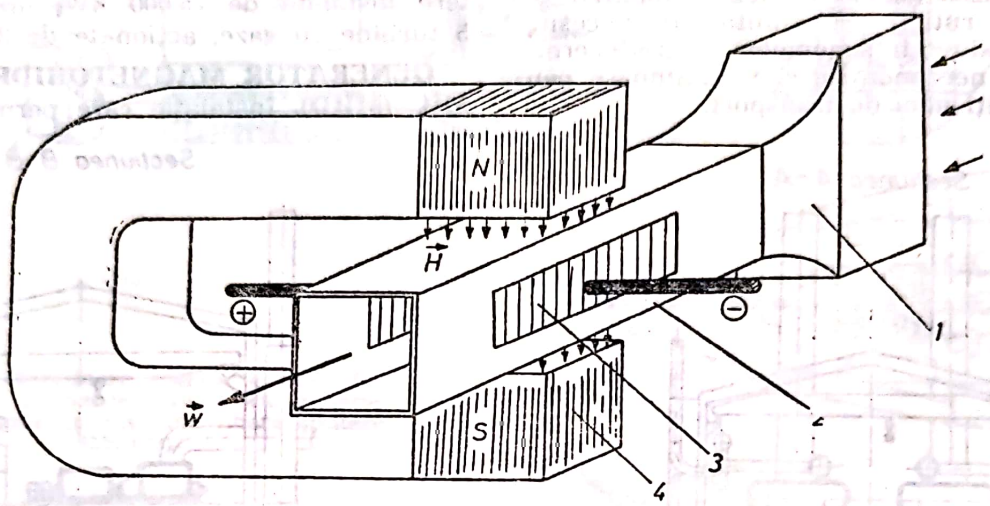


Fig. G.44. Schema de principiu a unui generator MHD.

În mod uzual, întrucît nu prezintă nici un organ de mișcare, **g. MHD** este considerat ca un sistem de conversie directă a căldurii în energie electrică. În mod riguros, însă, există cîteva etape intermediare în acest proces de conversie. Căldura primită de la sursa cu temperatură foarte ridicată (proces de ardere a unui combustibil sau reacție nucleară) servește, mai întîi, la creșterea puternică a energiei interne a agentului de lucru și, deci, a temperaturii sale, în scopul obținerii stării de plasmă. Prin destindere în ajutaj, o parte din energia potențială a agentului de lucru este transformată în energie cinetică, care, în final, în canalul **g. MHD**, este convertită direct în energie electrică. De aceea, este mai corect să definească **g. MHD** ca o instalație nemecanică (statică) de transformare a căldurii în energie electrică, punînd în felul acesta în evidență faptul că, în comparație cu turbogeneratoarele convenționale, **g. MHD** nu are organe mobile. În **g. MHD**, energia potențială a plasmei este transformată direct în energie electrică, în timp ce într-un grup turbo-generator clasic ea este transformată mai întîi în energie mecanică, și apoi aceasta transformată în energie electrică.

Scanned with OKEN Scanner

În comparație cu instalațiile clasice de forță, cu turbine de gaze sau cu turbine cu abur, avantajul principal al **g. MHD** este utilizarea mai eficientă a căldurii cu potențial termic ridicat. Lipsind organele de mișcare (cum sînt paletele mobile la turbine) supuse unor importante tensiuni mecanice și termice, este posibilă creșterea puternică a temperaturii gazului utilizat ca agent de lucru. Temperatura gazului, la intrare în **g. MHD**, utilizînd ca sursă de căldură arderea unui combustibil fosil, este uzual în jur de 2 600°C, în comparație cu 650°C la abur și 700—800°C la instalațiile cu turbine cu gaze. Astfel, temperatura agentului de lucru utilizat în **g. MHD** este foarte apropiată de cea a sursei de căldură, aceasta avînd ca rezultat o scădere importantă a pierderilor datorate ireversibilității procesului de transfer de căldură dintre sursa de căldură și agent și, în consecință, o creștere însemnată a randamentului termic al instalației. La aceasta trebuie adăugat și faptul că, cel puțin teoretic, nu sînt restricții în ceea ce privește concentrarea unei puteri foarte mari într-o singură unitate. Problema cea mai dificilă, însă, legată de funcționarea **g. MHD** o constituie găsirea unor materiale cu proprietăți dielectrice și mecanice corespunzătoare, la temperaturi ridicate, pentru confecționarea pereților ajutajului și a canalului generatorului. Dacă se ia în considerare o cădere de temperatură la perete de ordinul 500—800°C, rezultă că temperatura de regim a pereților se plasează la valori peste 1 500°C, mult prea ridicată pentru o funcționare continuă, pe o perioadă lungă, a materialelor ceramice obișnuite. Din acest motiv, instalațiile experimentale construite, cu o putere maximă de 200 kW, funcționează între cîteva minute și 100 de ore. Materialele din care sînt confecționați pereții sînt materiale ceramice speciale care conțin în principal $SrZrO_3$ și MgO.

Instalațiile termoelectrice care utilizează **g. MHD** pot funcționa în circuit deschis sau în circuit închis.

În figura G.45 este prezentată schema de funcționare a unei instalații cu **g. MHD** în circuit deschis. Aerul atmosferic este comprimat în compresorul *1* și introdus împreună cu combustibilul în camera de ardere *2*. În camera de ardere combustibilul arde la presiune constantă. Gazele fierbinți rezultate din ardere sînt introduse în generatorul MHD *3*, în același timp cu agentul ionizant conținînd metale alcaline sub formă de vapori. În **g. MHD**,

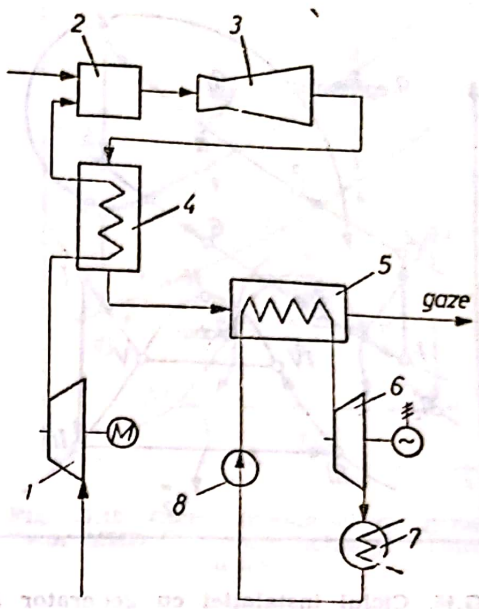


Fig. G.45. Schema de principiu a unei instalații cu generator MHD în circuit deschis și turbină cu abur.

agentul de lucru se destinde mai întîi (teoretic adiabatic) în ajutaj și apoi produce curent electric la trecerea prin canalul plasat în cîmp magnetic. Agentul de lucru părăsește **g. MHD** la o temperatură ce depășește 2 000°C, fiind trecut într-un schimbător de căldură regenerativ *4*, care încălzește aerul comprimat în compresorul *1*. Temperatura gazelor la ieșirea din acest preîncălzitor este încă mare, astfel încît este necesar să se utilizeze potențialul acestei surse de căldură. O posibilitate este aceea de a utiliza un ciclu de forță clasic, cu abur. În acest scop, gazele sînt trecute în generatorul de abur *5*, după care sînt evacuate în atmosferă, la o temperatură de cca 150°C. Aburul obținut în acest generator se destinde în turbina *6*, producînd energie mecanică, necesară antrenării unui generator electric. Aburul evacuat din turbină este condensat în condensatorul 7, iar pompa *8* reintroduce condensul în generatorul de vapori.

În figura G.46 este prezentat, în diagrama *T-s*, ciclul de funcționare al instalației în circuit deschis. În această diagramă *1—2—3—4—5—6—7—1* reprezintă procesele din circuitul **g. MHD**, iar *I—II—III—IV—V—I* reprezintă ciclul clasic cu abur. În ciclul MHD: *1—2* procesul de comprimare adiabată în compresor (în realitate politropic); *2—3* preîncălzirea aerului, la presiunea constantă, în schimbătorul de căldură regenerativ; *3—4* procesul de ardere izobară; *4—5* destinderea adiabată în ajutajul **g. MHD**; *5—6* răcirea izobară a agentului de lucru în preîncălzitorul de aer; *6—7* răcirea izobară a agentului de lucru

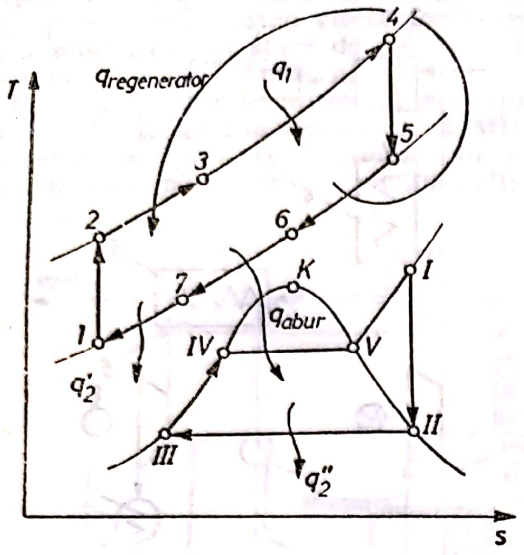


Fig. G.46. Ciclul instalației cu generator MHD, în circuit deschis și turbină cu abur.

în generatorul de vapori; 7—*1* răcirea gazelor evacuate în atmosferă (transferul de căldură la sursa rece). În ciclul cu abur: *I—II* destinderea adiabată a aburului în turbină; *II—III* procesul de condensare (transfer de căldură la sursa rece); *III—IV—V—I* procesul de vaporizare la presiune constantă (s-a neglijat procesul corespunzător creșterii de presiune în pompă).

Ciclurile *1—2—3—4—5—6—7—1* și *I—II—III—IV—V—I* sînt reprezentate în diagrama *T—s* pentru cantități diferite ale agentului de lucru: 1 kg pentru ciclul cu abur și $\dot{m}$[kg/s] pentru ciclul MHD.

Din ecuația de bilanț termic a generatorului de vapori:

$$\eta_{g.a}\cdot\dot{m}\,(h_6-h_7)=h_I-h_{II}$$

rezultă raportul dintre debitul de agent de lucru în ciclul MHD și debitul de vapori în ciclul cu abur:

$$\dot{m}=\frac{h_I-h_{III}}{\eta_{g.a}(h_6-h_7)},$$

în care $\eta_{g.a}$ este randamentul generatorului de abur.

Randamentul termic al instalației în curent deschis, ținînd seama de cantitățile diferite de agent de lucru, se exprimă:

$$\eta^{MHD}_{deschis}\,\frac{\dot{m}(e-|l_c|)+l_t}{m\cdot q_1},$$

în care: *e* reprezintă energia electrică obținută pentru 1 kg/*s* de agent de lucru; l_c — lucrul mecanic necesar antrenării compresorului pentru comprimarea a 1 kg de aer/*s*; l_t — lucrul mecanic produs prin destinderea a 1 kg/s de abur în turbină; q_1 — căldura primită în camera de ardere a 1 kg/s de agent de lucru.

Cu notațiile din figura G.45, expresia randamentului devine:

$$\eta^{MHD}_{deschis}=\frac{\dot{m}[(h_4-h_5)-(h_2-h_1)]+(h_I-h_{II})}{\dot{m}(h_4-h_3)}.$$

Agentul de lucru din ciclul MHD nu este considerat un gaz perfect (avînd căldura specifică constantă), așa cum se consideră în cazul ciclurilor turbinelor de gaze, deoarece la temperaturile de lucru în generatorul MHD (pînă la 2 600°C), are loc o disociere puternică a gazelor de ardere, astfel încît datorită modificării compoziției chimice, căldura specifică suferă modificări importante, în raport cu gradul de disociere.

Așa după cum se poate observa din diagrama *T-s* din figura G.46, partea corespunzătoare ciclului MHD este asemănătoare ciclului instalației cu turbină cu gaze cu ardere la presiune constantă, comprimare adiabată și regenerare a căldurii.

Prin ciclul instalației în circuit deschis sînt uzuale următoarele valori ale parametrilor caracteristici: presiunea maximă din ciclu este aceeași ca și în cazul instalațiilor cu turbine cu gaze, cca 300—500 kPa (3—5 bar); presiunea după destinderea din ajutaj, în canalul **g. MHD**, este aproximativ egală cu presiunea atmosferică, 100 kPa (1 bar); aerul comprimat în compresor este preluat din mediul ambiant la temperatura de 20°C; temperatura aerului după procesul de preîncălzire este (pentru posibilitățile tehnice actuale) de cca 1 200—1 500°C; temperatura obținută în urma procesului de ardere este de cca 2 100—2 200°C; temperatura gazelor la intrare în generatorul de abur este de cca 1 700—1 800°C (comparabilă cu temperatura de ardere în focarele cazanelor de radiație); temperatura gazelor la evacuarea în atmosferă este în jur de 150—200°C.

Analiza termodinamică a ciclului instalației în circuit deschis arată că pentru parametrii ciclului MHD menționați mai sus, pentru ciclul de abur se pot realiza următorii parametri: presiunea aburului, cca 25 MPa (250 bar); temperatura aburului, cca 550—600°C; presiunea la condensator, cca 4 kPa (0,04 bar). Acești parametri sînt uzuali pentru centralele electrice actuale cu abur.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru acești parametri, randamentul termic teoretic calculat [$\eta^{MHD}_{deschis}$] are valoarea în jur de 0,7, ceea ce duce la un randament efectiv al instalației de 0,50—0,55. Acest randament este superior randamentelor celor mai moderne centrale termoelectrice cu turbine cu abur sau gaze.

În figura G.47 este prezentată schema de funcționare a unei instalații cu **g. MHD** în circuit închis. Spre deosebire de instalația în circuit deschis, agentul de lucru nu mai este evacuat în atmosferă, fapt ce permite ca acesta să fie un gaz nobil sau organic, cu proprietățile cele mai potrivite pentru a fi întrebuințat ca agent de lucru în **g. MHD.** Instalația în circuit închis poate include un reactor nuclear ca sursă de temperatură ridicată (Fig. G.47). Agentul

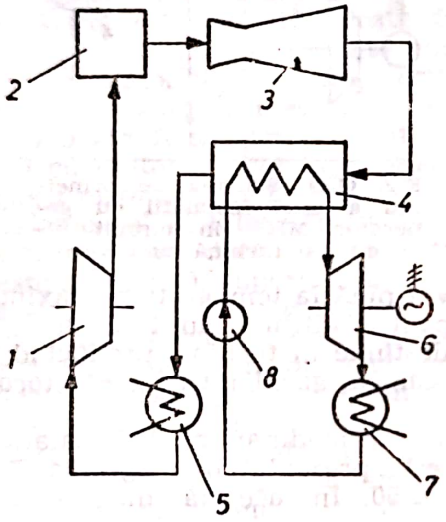


Fig. G.47. Schema de principiu a unei instalații cu generator MHD în circuit închis și turbină cu abur.

de lucru, comprimat în compresorul *1* este introdus în reactorul nuclear *2* în care este încălzit, căpătînd o temperatură foarte ridicată. Agentul de lucru este introdus, apoi, în **g. MHD** *3*, în care se destinde și produce energie electrică. Ca și în cazul instalației în circuit deschis, agentul de lucru este trecut, apoi, într-un generator de vapori *4*, producînd abur. Deoarece la ieșirea din generatorul de vapori agentul de lucru are o temperatură mai mare decît cea care se poate admite la aspirația compresorului, instalația cuprinde răcitorul cu apă *5*. Elementele circuitului de abur sînt cele clasice: *6* — turbogenerator; *7* — condensator; *8* — pompă.

In diagrama *T—s* din figura G.48 este prezentat ciclul de funcționare al instalației în circuitul închis. Pentru ciclul MHD: *1—2* procesul de comprimare adiabată în compresor; *2—3* procesul de încălzire izo-

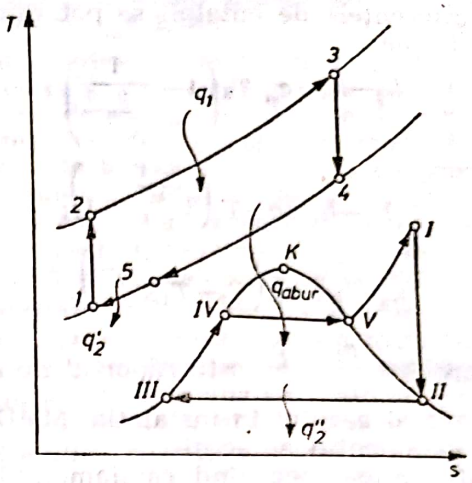


Fig. G.48. Ciclul instalației cu generator MHD în circuit închis și turbină cu abur.

bară a agentului de lucru; *3—4* procesul de destindere în ajutajul **g. MHD**; *4—5* procesul de răcire izobară a agentului de lucru în generatorul de vapori; *5—6* procesul de răcire izobară suplimentară. Pentru ciclul cu abur, procesele sînt aceleași ca și în cazul instalației în circuit deschis.

Din ecuația de bilanț termic a generatorului de vapori:

$$\eta_{g.a.} \cdot \dot{m}(h_4 - h_5) = h_I - h_{III},$$

în care $\eta_{g.a.}$ este randamentul generatorului de abur, $\dot{m}$ — debitul de vapori din circuitul cu abur se exprimă:

$$\dot{m} = \frac{h_I - h_{III}}{\eta_{g.a.}(h_4 - h_5)},$$

iar randamentul termic:

$$\eta^{MHD}_{închis} = \frac{\dot{m}(e - |l_c|) + l_t}{\dot{m} \cdot q_1},$$

în care: e este energia electrică obținută pentru 1 kg/s de agent de lucru; l_c — lucrul mecanic necesar antrenării compresorului pentru comprimarea a 1 kg/s de gaz; l_t — lucrul mecanic produs prin destinderea a 1 kg/s de abur în turbină; q_1 — căldura primită de 1 kg de gaz în reactorul nuclear.

Cu notațiile din figura G.48 expresia randamentului devine:

$$\eta^{MHD}_{închis} = \frac{\dot{m}[(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)] + (h_I - h_{II})}{\dot{m}(h_3 - h_2)}.$$

Gazul inert utilizat ca agent de lucru poate fi considerat într-o primă aproximație gaz perfect. Introducînd această ipote-

Scanned with OKEN Scanner

ză, diferențele de entalpii se pot exprima sub forma:

$$h_3 - h_4 = c_p \cdot T_3 \left(1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}}\right);$$

$$h_2 - h_1 = c_p \cdot T_1 \left(\beta^{\frac{k-1}{k}} - 1\right);$$

$$h_3 - h_2 = c_p \left(T_3 - T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}}\right),$$

în care $\beta = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_3}{p_4}$ este raportul de comprimare al gazului în instalația MHD, iar k — exponentul adiabatic.

Cu acestea, neglijînd randamentul generatorului de abur, expresia randamentului capătă forma:

$$\eta_{\hat{i}nchis}^{MHD} = \left(1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}}\right) + \frac{h_I + h_{II}}{h_I - h_{III}} \cdot \frac{h_4 - h_5}{h - {}_3 h_2}$$

sau:

$$\eta_{\hat{i}nchis}^{MHD} = \eta_{MHD} + \eta_{abur} \frac{h_4 - h_5}{h_3 - h_2},$$

în care η_{MHD} este randamentul ciclului MHD, asemănător ca formă cu cel al unui ciclu cu turbină cu gaze, iar η_{abur} — randamentul termic al ciclului cu abur, considerat ca ciclu Rankine.

În instalațiile în circuit închis cu **g. MHD**, agenții de lucru cei mai utilizați sînt argonul și heliul. Aceste gaze au proprietatea remarcabilă ca la temperaturi mai coborîte decît cea corespunzătoare unui proces de ardere să prezinte, în asociație cu cesiu sau potasiu, o conductivitate electrică mai mare decît cea corespunzătoare gazelor de ardere. Spre exemplu, la utilizarea heliului ca agent de lucru, în asociație cu vapori de cesiu, temperatura maximă poate fi coborîtă la cca 2 000°C față de 2 500°C în cazul gazelor de ardere, pentru aceeași mărime a conductivității electrice. Aceasta simplifică construcția **g. MHD** în condițiile existenței materialelor moderne rezistente la temperaturi înalte.

Randamentul termic teoretic al unei instalații în circuit închis poate avea valori în jur de 0,65, iar randamentul efectiv al instalației, valori în jur de 0,50.

În figura G.49 este prezentată schema unei instalații în circuit închis, deosebită de precedenta prin faptul că nu mai funcționează după un ciclu binar, ci cuprinde un **g. MHD** și o turbină cu gaze. În această instalație, gazul comprimat este introdus în reactorul nuclear *1*, unde primește căldura q_1. Gazul se destinde apoi adiabatic în **g. MHD** *2* producînd curent electric. În continuare, el se răcește în schimbătorul regenerativ *3* și răcitorul cu apă *4* pînă la temperatura admisibilă la intrarea în compresorul *5*. După comprimare, gazul este încălzit în schimbătorul de căldură regenerativ *3* pînă la temperatura maximă admisă pentru intrarea în turbina *6*. După ce se destinde în turbină, producînd energie mecanică, gazul intră în reactorul nuclear.

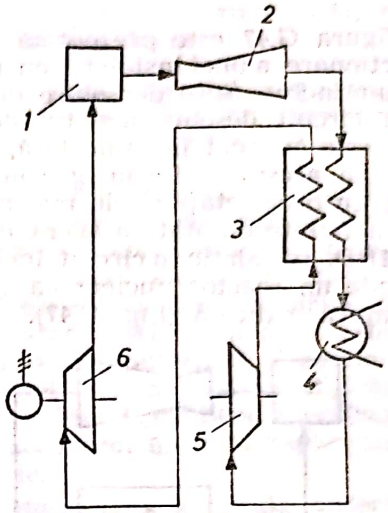


Fig. G.49. Schema de principiu a unei instalații cu generator MHD în circuit închis și turbină cu gaze.

Ciclul termodinamic al instalației descrise este prezentat în diagrama *T-s* din figura G.50. În această diagramă: *1—2*

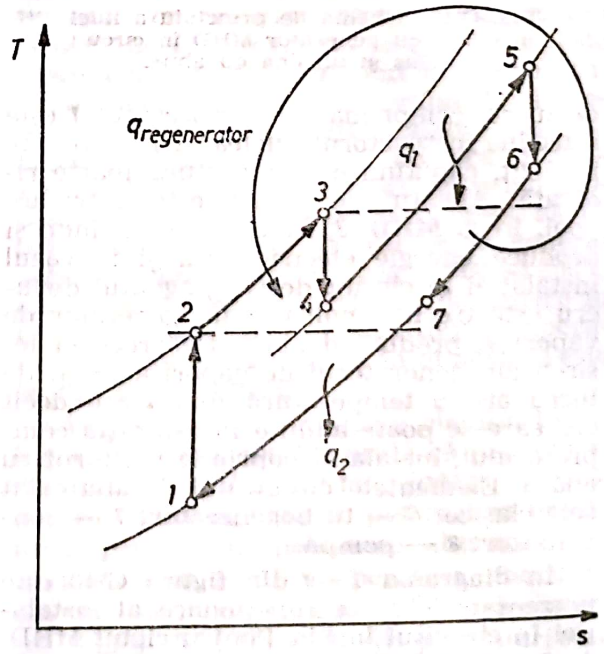


Fig. G.50. Ciclul instalației cu generator MHD în circuit închis cu turbină cu gaze.

comprimarea adiabată în compresor; *2—3* încălzirea în schimbătorul de căldură regenerativ; *3—4* destinderea în turbină; *4—5* încălzirea izobară în reactorul nuclear; 5—6 destinderea în g. MHD; 6—7 răcirea izobară în schimbătorul de căldură regenerativ; 7—*1* răcirea în răcitorul cu apă.

Acest tip de instalații cu g. MHD asigură, de asemenea, un randament termic ridicat și, de multe ori, este preferată celor ce funcționează după cicluri binare.

Metalele topite (în mod uzual sodiul sau alte metale alcaline) sînt utilizate, ca și gazele, drept agenți de lucru în instalațiile cu g. MHD. Conductivitatea electrică mult mai mare a metalelor topite (de 4—5 ori mai mare decît cea a gazelor parțial ionizate) permite obținerea unor puteri electrice mari în condițiile unei viteze de curgere relativ mici în canalul g. MHD.

Temperatura metalului topit la intrarea într-un astfel de generator poate fi mai mică decît în cazurile prezentate anterior, dar, evident sensibil mai mare decît temperatura de topire a metalului. Agentul de lucru poate fi accelerat la intrarea în g. MHD cu ajutorul unui injector acționat cu vaporii metalului topit.

Randamentul instalațiilor cu metale topite este mai mic decît cel al instalației cu plasmă, datorită imposibilității de a se obține viteze ridicate în generator. În același timp, însă, gabaritul redus și compactitatea acestor instalații, datorită puterilor specifice mari care pot fi obținute și utilizării de pompe în locul compresoarelor pentru circulația metalului topit, fac ca ele să fie mai potrivite în anumite situații, cum ar fi de exemplu instalațiile utilizate în transporturi.

GHEAȚĂ. Apă în stare solidă. Ia naștere prin răcirea apei pe cale naturală sau în mod artificial la temperatura de 0°C.

G. naturală conține frecvent incluziuni gazoase și solide. Cristalizează în sistemul hexagonal, clasa dihexagonal-piramidală, luînd forme variate: plăci hexagonale, cristale tabulare, figuri cu șase raze, dendrite, stalactite etc. În structura g., moleculele de apă (în care protonii H^{1+}, care nu au electroni proprii, pătrund adînc în interiorul ionului de oxigen) slab legate între ele sînt orientate astfel, încît porțiunile lor încărcate pozitiv sînt îndreptate spre porțiunile încărcate negativ ale altor molecule. Acest lucru determină o structură mai puțin compactă, ceea ce explică densitatea gheții mai mică decît cea a apei.

G. este incoloră, sau, în mase mari, slab colorată în albastru, cu luciu sticlos. Este casantă și nu prezintă clivaj. Este optic pozitivă, avînd indicii de refracție: $n_g=1{,}310$ și $n_m=1{,}309$.

Temperatura de topire a g. la presiunea normală (760 mmHg) este de 0°C și este considerată drept origine la scările termometrice Celsius și Reaumur. Temperatura de topire a g. variază cu presiunea: scade mai întîi cu cîte 0,0075 K pentru fiecare creștere a presiunii cu 0,1 MPa și apoi crește, ajungînd la presiuni mai mari de 2 GPa mai mare decît 0°C.

Densitatea g. este de 1,5 în scara mineralogică. Densitatea g. variază între 880 și 930 kg/m³, în funcție de temperatură și de cantitatea de incluziuni gazoase (la 0°C, densitatea medie a gheții este de 917 kg/m³). Căldura specifică scade cu temperatura, fiind la 0°C de 2,038 kJ/kg·K, iar la —20°C de 1,946 kJ/kg·K. Conductivitatea termică la 0°C este de 2,232 W/m·K și crește la scăderea temperaturii, fiind la —50°C de 2,779 W/m·K. Căldura latentă de topire este de cca. 335 kJ/kg. Rezistența medie la tracțiune este de 1,736 MPa, iar la compresiune, 4,150 MPa.

G. are proprietăți plastice, în special la temperaturi apropiate de 0°C. Supusă la presiune, g. își modifică cu timpul forma. Această proprietate se explică prin prezența, în structura g. a straturilor moleculelor de apă. Supunînd g. la presiuni mari, se obține cinci varietăți de g., cu formă cristalină și densitate diferite de g. obișnuită.

G. artificială (obținută prin răcirea apei, se produce pe scară industrială sub formă de: g. translucidă datorită impurităților și, în special, incluziunii de aer), g. transparentă (prin tratarea chimică prealabilă a apei) și g. antiseptică (în general, prin introducerea în apă a unei soluții concentrate de hipoclorit de calciu) în instalații speciale.

Instalațiile pentru fabricarea g. artificiale cuprind următoarele părți principale: agregatele frigorifice (care sînt, în general, cu comprimare mecanică de vapori, folosind ca agent amoniacul sau un freon), generatorul de gheață, instalația pentru transportul frigului de la agentul frigorific la generatorul de gheață (cuprinzînd pompele și conductele de saramură, armăturile etc.), instalația de alimentare cu apă și instalații de descărcare a g., depozitul de g. și părțile anexe (încăperi de serviciu, ateliere, birouri, instalația de încărcare a g. etc.).

Din *punctul de vedere al structurii*, există următoarele categorii de g.: g. cris-

Scanned with OKEN Scanner

tal, g. de fund, g. minus, g. transparentă, g. uscată.

G. cristal. Este transparentă, fără urme tulburi (cu excepția unui fir axial central), obținută din apă distilată din care s-a scos aerul. Tehnologia g. cristal se deosebește de cea a g. artificiale obișnuite prin următoarele operații suplimentare: distilarea sau tratarea chimică (pentru îndepărtarea substanțelor străine), eliminarea aerului din apă (prin formare de vid) și filtrarea apei. G. cristal se folosește mai ales în scopuri medicale.

G. de fund. Are structură variată (cel mai frecvent aciculară, coraliformă, sub formă de discuri, boabe de mazăre etc.) și densitate mai mare decît cea a apei. Ea se formează pe fundul apelor curgătoare sau a lacurilor, în jurul aluviunilor, în zonele în care apa are viteze mici și adîncimi mici.

G. minus. Se produce prin congelarea unei soluții nesaturate, dintr-o sare oarecare, de exemplu din clorură de sodiu.

G. transparentă. Se obține din apă obișnuită nedistilată, avînd însă duritate mică. Spre deosebire de g. cristal, miezul, care poate atinge o treime din grosimea blocului, este tulbure din cauza aglomerării sărurilor. G. transparentă are, în general, aceleași proprietăți fizice ca și g. obișnuită. Tehnologia ei se deosebește de cea a g. artificiale obișnuite prin operația de degazare (scoaterea aerului). Aceasta se efectuează prin agitarea continuă a apei pînă în momentul solidificării, sau prin insuflare de aer comprimat care antrenează bulele de aer din apă. G. transparentă se topește la început mai încet, apoi mai repede, datorită prezenței sărurilor acumulate la mijlocul blocului. Este folosită în scopuri alimentare în care, pe lîngă efectul de răcire al produselor, este necesară și o prezentare estetică.

G. uscată. Este bioxid de carbon (CO_2) în stare solidă. Se numește uscată, întrucît această g. are proprietatea de a sublima la presiunea atmosferică, trecînd direct din stare solidă în stare gazoasă, fără a lăsa nici un reziduu lichid sau solid. Temperatura de sublimare a g. uscate la presiunea normală (760 mmHg) este de —78,9°C. În vid, temperatura de sublimare scade sub —100°C. La presiuni mai înalte, temperatura de sublimare crește la punctul triplu (578 kPa și —56,6°C), bioxidul de carbon găsindu-se în toate cele trei faze: lichidă, solidă și gazoasă. Densitatea g. uscate variază în funcție de procedeul de fabricație, atingînd valoarea maximă de 1 560 kg/m³. G. uscată industrială are densitatea între 1 300 și 1 500 kg/m³. Căldura de sublimare la temperatura de —78,9°C este de 573,3 kJ/kg. Căldura latentă de solidificare a bioxidului de carbon lichid, la punctul triplu, este de 195,69 kJ/kg. Conductivitatea termică a g. uscate cu densitatea de 1 300 kg/m³ este de 0,383 W/m·K. Căldura specifică a vaporilor de bioxid de carbon rezultați prin sublimarea g. uscate este de 0,845 kJ/kg·K.

În toate procedeele de fabricație, bioxidul de carbon trebuie mai întîi lichefiat, prin comprimare și răcire. În funcție de presiunea la care se produce lichefierea bioxidului de carbon, există două procedee de fabricație:

— procedeul cu presiune înaltă, caracterizat prin presiunea de lichefiere de 6,5—7 MPa, în funcție de temperatura apei de răcire; reducerea presiunii bioxidului de carbon pînă la valoarea necesară formării g. uscate se face fie prin destindere directă, fie prin destindere în trepte, caz în care se obțin randamente superioare;

— procedeul de medie presiune, caracterizat prin condiții care permit lichefierea la presiuni de 1,6—2 MPa cu ajutorul unei instalații frigorifice.

Indiferent de modul de obținere a bioxidului de carbon lichid, se deosebesc două procedee de obținere a g. uscate: cu sau fără presare.

La procedeul cu presare, bioxidul de carbon se destinde printr-un ventil de laminare, la o presiune apropiată de cea a punctului triplu, într-un generator, trecînd o parte în stare de vapori, iar cealaltă, în stare solidă sub formă de zăpadă carbonică. Zăpada se presează apoi, cu prese hidraulice, la cca 5 MPa, obținîndu-se un bloc compact.

La procedeul fără presare, generatorul, de o construcție specială, este umplut întîi cu bioxid de carbon lichid, iar apoi, prin destindere în ventile de laminare, o parte din bioxidul de carbon se evaporă, producînd răcirea și solidificarea cantității rămasă în generator.

Efectul de răcire la 0°C a g. uscate în comparație cu cel al g. din apă este de 1,9 ori mai mare, dacă se raportează la mase egale și de 3,3 ori mai mare, dacă se raportează la volume egale.

G. uscată este folosită la păstrarea și transportul produselor alimentare, congelate, la tratarea metalelor, liofilizarea preparatelor etc.

GHID DE SUPAPĂ. Bucșă cu rol de dirijare a mișcării supapelor mecanismului de distribuție al motoarelor cu ardere internă.

G. de s. este demontabil şi se introduce cu strîngere în locaşul din culasă. În figura G.51 se prezintă un ansamblu ghid-supapă de distribuţie montat în culasă. Pentru a uşura evacuarea căldurii din supapă, jocul dintre ghid şi tija supapei trebuie redus la minim, dar, din cauza dilatării tijei, un joc prea mic creează pericolul de gripaj. Jocurile medii dintre tijă şi

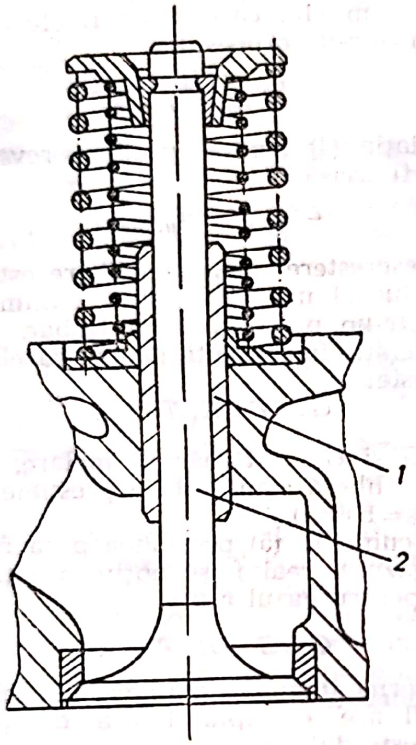


Fig. G.51. Ansamblul ghid-supapă montat în culasă:
1 — ghid; 2 — supapă.

ghid se prevăd de 20—50 μm la supapele de admisie şi 50—70 μm la supapele de evacuare, care se dilată mai mult. Pentru a reduce frecarea şi a evita pericolul de gripaj, cuplul ghid-tija supapei se unge prin ceaţă de ulei şi stropire. În cazul ungerii abundente şi al jocului prea mare între ghid şi tijă, depresiunea din galeria de admisie măreşte consumul de ulei al motorului. Pentru a atenua acest dezavantaj accesul uleiului între tijă şi ghid se limitează prin reducerea jocului. O soluţie eficientă se obţine prin execuţia ghidului cu suprafaţa interioară tronconică (Fig. G.52), ceea ce satisface condiţia de dilatare inegală în lungul tijei. În acest caz, se poate micşora jocul la marginea superioară a ghidului la 7—15 μm şi, în consecinţă, se reduce sensibil consumul de ulei. Pentru a proteja supapa de evacuare de acţiunea gazelor fierbinţi ghidul se co-

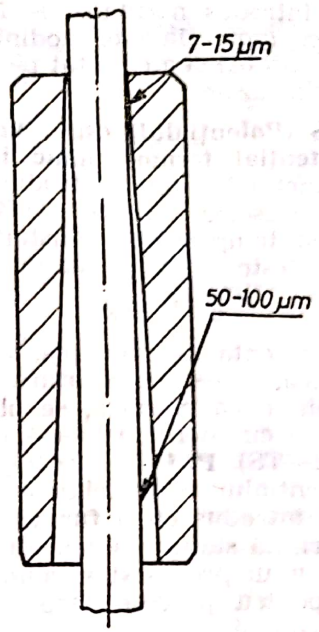


Fig. G.52. Ghid de supapă cu suprafaţă interioară tronconică.

boară pînă aproape de talerul acesteia (Fig. G.53).

G. de s. se execută din materiale cu proprietăţi antifricţiune, rezistente la temperatură înaltă: fontă refractară, bronz refractar sau bronz de aluminiu care are un coeficient mare de conductibilitate şi lucrează bine în condiţii de ungere insuficientă.

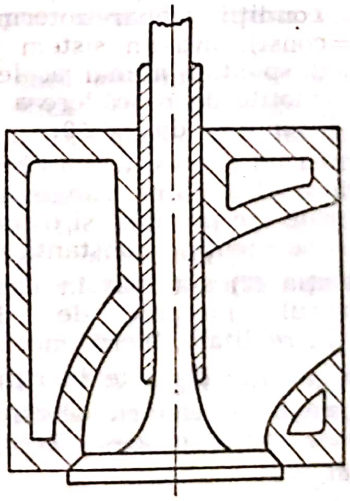


Fig. G.53. Ghid de supapă de evacuare.

GIBBS, Willard. Fizician american (1839—1903). În 1875 a publicat lucrarea, „Despre echilibrul sistemelor eterogene", în care aplică principiile termodinamicii la sistemele eterogene şi la reacţiile chi-

Scanned with OKEN Scanner

mice. A introdus noțiunea de funcții caracteristice (potențiale termodinamice sau potențiale Gibbs) și a enunțat pentru prima oară regula fazelor.

GIBBS (Potențialul) (Sin.: **Entalpie liberă; Potențial termodinamic izobar-izoterm**). Funcția de stare, introdusă, pentru studiul proceselor care se desfășoară la presiune și temperatură constante. Notația folosită este g sau G, iar definirea:

$$g=h-Ts, \qquad (1)$$

unde: h este entalpia specifică, s — entropia specifică, T — temperatura absolută. În termodinamica chimică, se obișnuiește să se noteze cu litere mari mărimile molare ($G=H-TS$). **P. G** sau entalpia liberă (ca și potențialul Helmholtz sau energia liberă) s-a introdus ca o funcție de stare care să permită stabilirea sensului de desfășurare a unui proces și a condițiilor de echilibru pentru procese care au loc în sisteme neizolate.

Plecînd de la ecuația principiului I al termodinamicii combinată cu principiul II al termodinamicii:

$$dh-Tds \leqslant vdp, \qquad (2)$$

(unde v și p sînt parametrii de stare: volumul specific și presiunea) și impunînd condiția $p=\text{const}$, $T=\text{const}$, rezultă:

$$dg_{p,\,T} \leqslant 0. \qquad (3)$$

Variația entalpiei libere (**p. G**) poate folosi drept criteriu de apreciere a sensului de desfășurare a unui proces, deoarece:

— în condiții izobar-izotermice ($p=\text{const}$, $T=\text{const}$): într-un sistem pot avea loc în mod spontan numai acele procese care sînt însoțite de o scădere a entalpiei libere a sistemului $dg_{p,\,T}<0$;

— pentru un proces la echilibru: entalpia liberă a sistemului atinge o valoare minimă (pentru o presiune și o temperatură date) și se menține constantă $dg_{p,\,T}=0$.

În relația (2) s-a luat în considerare numai lucrul mecanic de deplasare $\delta l_v=pdv$. În realitate, lucrul mecanic total $\delta l=\delta l_v+\delta l_u$, unde δl_u este lucrul util nemecanic (magnetic, electric, electrochimic). În cele mai multe procese, δl_u poate fi neglijat [$\delta l_u=0$].

Există însă procese, de exemplu în cazul unei pile electrochimice (pila de combustibil) dispozitiv care transformă energia chimică direct în energie electrică, cînd lucrul util nemecanic δl_u nu poate fi neglijat. Atunci folosind relațiile (1) și (2) se găsește:

$$dg \leqslant -sdT+vdp-\delta l_u$$

sau:

$$dg_{p,\,T} \leqslant -\delta l_u. \qquad (4)$$

Scăzînd egalitatea (valabilă pentru procese reversibile) din inegalitate (valabilă pentru procese ireversibile) se obține:

$$\delta l_{u,\,rev} \geqslant \delta l_{u,\,irev},$$

adică lucrul mecanic reversibil este lucrul mecanic maxim care poate fi efectuat de sistem într-un proces dat:

$$l_{u,\,rev}=l_{u,\,max}.$$

Relația (4) pentru procese reversibile poate fi scrisă:

$$\Delta g_{p,\,T}=-l_{u,\,max},$$

deci descreșterea entalpiei libere este egală cu lucrul util nemecanic maxim efectuat într-un proces izoterm-izobar.

O relație importantă pentru gazele perfecte este:

$$G=G^\circ+R_MT\ln p, \qquad (5)$$

unde G și G° sînt mărimi molare, G° — entalpia liberă standard (la presiune standard $p_0=1$ atm).

Înlocuind în (5) presiunea p cu fugacitatea gazului real f, se obține relația valabilă pentru gazul real:

$$G=G^\circ+R_MT\ln f. \qquad (6)$$

În termodinamica chimică, un rol deosebit îl are entalpia liberă de reacție G. Ea este definită:

$$\Delta_rG=(\partial g/\partial y)_{p,\,T,\,X} \qquad (7)$$

(X indică compoziție constantă, y — coordonată de reacție sau grad de avansare a reacției), sau:

$$\Delta_rG=\Sigma\nu_iG_i, \qquad (8)$$

unde ν_i este coeficientul stoichiometric al participantului i, iar G_i — entalpia liberă molară a participantului i.

În relația (8), coeficienții stoichiometrici ai reactanților se iau cu semnul minus, iar cei ai produșilor, cu semnul plus.

Aflarea entalpiei libere de reacție din date termochimice tabelate permite, prin intermediul izotermei de reacție, să se afle constanta de echilibru a unei reacții, mărime deosebit de importantă în studiul echilibrului chimic. Izoterma de reacție pentru sisteme aflate în echilibru:

$$\Delta_rG^\circ=-R_MT\ln K_p, \qquad (9)$$

unde: Δ_rG^0 este entalpia liberă de reacție standard; R_M — constanta universală a ga-

Scanned with OKEN Scanner

zelor; T — temperatura absolută K_p — constantă de echilibru în termeni de presiuni parțiale ($K_p=\Pi(p_i)^{\nu_i}$, p_i fiind presiunea participantului i, iar ν_i — coeficient stoichiometric (negativ pentru reactanți și pozitiv pentru produși).

Dacă $\Delta_r G^0=0$, reacția se află în echilibru, dacă $\Delta_r G^0<0$, reacția se desfășoară spontan de la stînga la dreapta, iar dacă $\Delta_r G^0>0$, reacția este imposibilă în sensul direct, ea are loc spontan de la dreapta la stînga, în sensul transformării produșilor de reacție în reactanți.

GIBBS (Regula fazelor lui). Stabilește o relație între numărul de faze, F, numărul de grade de libertate (sau variantă), v, și numărul de componenți independenți C:

$$v=C-F+2. \quad (1)$$

Legea fazelor se aplică la studiul echilibrului între faze, în cazul sistemelor formate din mai multe faze, conținînd mai mulți componenți.

Prin *variantă* se înțelege numărul gradelor de libertate pe care îl are sistemul, adică numărul de parametri care pot fi variați în mod independent și care definesc în mod complet starea sistemului. Astfel, pentru un sistem monocomponent monofazic (lichid, gaz sau solid), starea sistemului este descrisă complet prin indicarea a doi parametri (de obicei, presiunea și temperatura); pentru astfel de sisteme varianța este $v=2$.

Numărul de componenți independenți reprezintă cel mai mic număr de componenți, cu ajutorul cărora poate fi exprimată compoziția fiecărei faze din sistem fie direct, fie sub forma unei ecuații chimice. Astfel, numărul de componenți independenți se poate obține, dacă din numărul total al componenților din sistem se scade numărul de ecuații chimice (reacții) independente care leagă acești componenți. De exemplu, un sistem care conține $CaCO_3$, CaO, CO_2 se consideră că are doi componenți independenți la $p=1$ atm și la o temperatură mai mare de 800°C, cînd are loc reacția $CaCO_3 \rightarrow CaO+CO_2$. La temperatura camerei același sistem are un număr de trei componenți independenți, întrucît reacția de descompunere a $CaCO_3$ nu mai are loc.

Prin *fază* se înțelege domeniul în care într-un moment dat atît compoziția chimică, cît și proprietățile fizice rămîn aceleași în orice punct din interiorul sistemului sau variază continuu.

Din legea fazelor (1), rezultă că numărul maxim de faze care pot fi în echilibru este: $F_{max}=C+2$.

Pentru cazul general în care starea de echilibru a sistemului depinde, în afară de parametrii presiune și temperatură, de alți parametri intensivi (cîmp electric, cîmp gravitațional etc.), legea fazelor este de forma:

$$v=C-F+\pi, \quad (3)$$

unde π include, în afara presiunii și temperaturii, și ceilalți parametri variabili.

Pentru *sistemele monocomponente*, legea fazelor devine:

$$v=3-F. \quad (4)$$

Conform ecuației (4), se deduce că într-un sistem monocomponent numărul maxim posibil de faze în echilibru este trei: $F_{max}=3$. Spre exemplu, deși fierul există în mai multe forme stabile: Feα, Feβ, Feγ, Feδ, $Fe_{(lichid)}$ și $Fe_{(vapori)}$, nu pot coexista în echilibru mai mult de trei dintre aceste forme.

Pentru sisteme monocomponente, aplicînd legea fazelor în forma (4), rezultă că:

— $v=0$, dacă sistemul conține trei faze în echilibru (lucru posibil numai în punctele triple ale diagramelor de fază); varianța sistemului fiind egală cu zero, înseamnă că nu poate fi variat nici un parametru fără a se modifica starea sistemului (apariția unei faze noi sau dispariția uneia dintre faze);

— $v=1$, dacă coexistă numai două faze, numărul gradelor de libertate fiind egal cu 1, înseamnă că se poate varia independent fie numai presiunea, fie numai temperatura;

— $v=2$, dacă sistemul este monofazic, se pot modifica atît temperatura, cît și presiunea fără a se modifica starea sistemului.

Pentru *sistemele policomponente* în cazul particular în care echilibrul se stabilește între faze condensate (lichide, solide), legea fazelor se exprimă prin relația:

$$v=C-F+1. \quad (5)$$

GRAD DE AVANSARE A REACȚIEI (Sin.: **Coordonată de reacție**). Termenul a fost introdus de De Donder și definit ca raportul:

$$y=\Delta n_i/\nu_i \quad (1)$$

unde Δn_i este variația numărului de moli de component i în timpul reacției, $\Delta n_i=n_i-n_i^0$ (n_i — cantitatea de component i în starea finală, n_i^0 — cantitatea de component i în starea inițială), iar ν_i — coefi-

Scanned with OKEN Scanner

cientul stoichiometric al componentului i (pentru reactanți se ia cu semnul minus, iar pentru produși cu semnul plus).

Într-o reacție chimică:

$$\Delta n_1/\nu_1 = \Delta n_2/\nu_2 = \ldots\ldots \Delta n_i/\nu_i = y.$$

Gradul de avansare a reacției este o caracteristică a reacției, ea are aceeași valoare pentru toți componenții, reprezentînd gradul de desfășurare a procesului. Mărimea y variază între zero, la începutul reacției și o valoare maximă, cînd reacția s-a terminat.

În reacții inverse, cele care decurg de la dreapta spre stînga, gradul de avansare y ia valori negative și este minim la terminarea reacției.

Cunoscînd y, se poate calcula cantitatea oricărui component în starea finală. Din:

$$y = \frac{(n_i - n_i^0)}{\nu_i},$$

se deduce:

$$n_i = n_i^0 + y\nu_i. \qquad (2)$$

Prin diferențierea relației (2) se obține:

$$dn_i = \nu_i dy. \qquad (3)$$

Relația (3) este valabilă pentru un proces elementar de transformare chimică.

G. de a. a r. este o mărime deosebit de utilă în studiul echilibrului chimic.

GRAD DE DISOCIERE. Criteriu de evaluare al capacității de disociere electrolitică.

Conform teoriei lui Arrhenius referitoare la dizolvare, un electrolit se disociază spontan în ioni. Capacitatea de disociere electrolitică depinde de natura electrolitului, de concentrația sa și de natura solventului folosit. **G. de d.** electrolitică (α) reprezintă raportul dintre numărul moleculelor disociate și numărul inițial de molecule, adică fracțiunea moleculelor disociate. În funcție de valoarea gradului de disociere în soluții de 1 mol/l, electroliții se împart în: electroliți slabi cu $\alpha < 1\%$ (ex.: majoritatea acizilor organici, acizii minerali slabi), electroliți de tărie mijlocie cu $\alpha = 1$—50% (ex.: H_2SO_4 pe treapta a II-a; H_3PO_4 pe treapta I) și electroliți tari la care $\alpha \cong 100\%$ (ex.: acizii minerali puternici, hidroxizii metalelor alcaline, majoritatea sărurilor minerale). **G. de d.** intră în expresia factorului van't Hoff (coeficient izotonic) i.

Coeficientul izotonic i exprimă abaterea unei soluții diluate de electrolit față de o soluție de neelectrolit de aceeași concentrație, fiind dat de numărul total de particule de soluție:

$$i = 1 - \alpha + \nu_\alpha,$$

unde: $1-\alpha$ reprezintă fracțiunea de particule nedisociate; ν_α — numărul de particule apărute prin disocierea incompletă; ν — numărul de ioni în care disociază electrolitul.

Rezultă pentru gradul de disociere

$$\alpha = \frac{i-1}{\nu-1}.$$

Dacă molecula nedisociată are masa moleculară M, în cazul că are loc o disociere, se găsește o masă moleculară aparentă M^{exp}, în care $M^{exp} < M$.

G. de d. se poate calcula cu ajutorul masei moleculare aparente M^{exp}, întrucît:

$$1 - \alpha + \nu\alpha = \frac{M}{M^{exp}};$$

Deci:

$$\alpha = \frac{M - M^{exp}}{M^{exp}(\nu - 1)}; \qquad (2)$$

Masa aparentă se determină de cele mai multe ori din măsurători crioscopice.

Disociația electrolitică poate fi considerată ca o reacție reversibilă, moleculele disociate fiind în echilibru dinamic cu moleculele nedisociate.

Pentru un electrolit binar AB, cu ioni de valență egală, avînd gradul de disociere α și o concentrație c [moli/l], concentrația particulelor disociate va fi $c\alpha$, iar particulele nedisociate vor fi $(c - c\alpha)$. Se poate scrie reacția de disociere și concentrațiile la echilibru:

$$\underset{c(1-\alpha)}{AB} \rightleftharpoons \underset{c\alpha}{A^+} + \underset{c\alpha}{B^-}$$

Expresia constantei de echilibru, prin aplicarea legii acțiunii maselor $K = \pi(c_i)^{\nu_i}$ (unde coeficienții stoichiometrici ν_i ai reactanților se iau cu semnul minus, iar cei ai produșilor cu semnul plus), va fi:

$$K_d = \frac{(c\alpha)(c\alpha)}{c(1-\alpha)} \quad \text{sau:} \quad K_d = \frac{c\alpha^2}{1-\alpha}. \qquad (3)$$

Constanta de echilibru în cazul disocierii electrolitice K_d se numește *constantă de disociere*. Relația (3) este cunoscută

sub numele de legea diluației lui Ostwald.

Astfel de relații între constanta de disociere K_d și gradul de disociere α pot fi deduse similar pentru orice tip de electrolit. De exemplu, pentru un electrolit de tip AB_2 se găsește o relație de forma:

$$K_d = \frac{4c^2\alpha^3}{1-\alpha}; \qquad (4)$$

Relațiile (3) și (4), denumite în general „legea diluației", nu se aplică decît soluțiilor diluate în electroliți slabi, deoarece legea acțiunii maselor utilizată la deducerea acestor relații nu ia în considerare cîmpurile de forță ale particulelor; această lege este strict valabilă în absența interacțiunilor ionice (cînd se neglijează coeficienții de activitate).

Spre deosebire de disociația electrolitică — fenomen ce are loc spontan la dizolvare, produsele sale fiind ioni, disociația termică se produce în timp, la încălzire și produsele ei sînt molecule neutre.

Cele două tipuri de disociere sînt procese supuse legilor echilibrului chimic, disocierea termică decurgînd cu respectarea simultană a două condiții:

— se supune disocierii termice un singur tip de molecule;

— reacția are loc cu mărirea numărului de molecule.

Exemple de disocieri termice:

$$2H_2O \rightleftarrows 2H_2 + O_2$$

$$PCl_5 \rightleftarrows PCl_3 + Cl_2$$

$$CaCO_3 \rightleftarrows CaO + CO_2$$

Fiind un echilibru chimic, se poate defini un grad de disociere termică.

G. de d. termică are expresia:

$$\alpha = \frac{n_D}{n_D + n_A \nu_D},$$

în care: n_D este cantitatea de produs deficitar (produsul cu valoarea minimă a raportului $\frac{n_i^0}{|\nu_i|}$, n_i^0 fiind cantitatea inițială de component; ν_i — coeficientul stoichiometric al produsului), ν_D — coeficientul stoichiometric al produsului deficitar; n_A — cantitatea de substanță disociată în starea dată a sistemului.

De exemplu, într-un sistem conținînd inițial 28 moli $NaHCO_3$, 15 moli Na_2CO_3, 6 moli CO_2 și 8 moli H_2O, în care are loc reacția de disociere:

$$NaHCO_3 \rightarrow 1/2Na_2CO_3 + 1/2CO_2 + 1/2H_2O,$$

produsul de disociere deficitar se stabilește comparînd rapoartele $\frac{n_i^0}{\nu_i}$ pentru substanțele din membrul doi: 15/0,5=30 pentru Na_2CO_3, 6/0,5=12 pentru CO_2 și 8/0,5=16 pentru H_2O, astfel încît produsul deficitar este CO_2, iar relația (5) devine:

$$\alpha = \frac{n_{CO_2}}{n_{CO_2} + n_{NAHCO_3}\nu_{CO_2}} = \frac{6}{6+28\cdot 0,5} = 30\%.$$

Dacă cel puțin unul dintre produșii de reacție lipsește total din sistem, rezultă din relația (5) că disocierea este nulă.

G. de d. termică este utilizat în studiul echilibrului chimic, întrucît există, în cazul reacțiilor omogene de disociere în sisteme ideale, o corelație între constanta de echilibru și gradul de disociere.

Dacă, inițial, sistemul de reacție conține numai o substanță care disociază, A:

$$A \rightleftarrows 2B$$

la echilibru, după disocierea lui A în α moli, vor exista $(1-\alpha)$ moli A și 2α moli B. Atunci fracțiile molare respective, exprimate funcție de gradul de disociere, vor fi:

$$x_A = \frac{n_A}{n} = \frac{1-\alpha}{1-\alpha+2\alpha} = \frac{1-\alpha}{1+\alpha}$$

(n_A — numărul de moli de A, n numărul total de moli)

$$x_B = \frac{n_B}{n} = \frac{2\alpha}{1+\alpha}$$

(n_B — numărul de moli de B).

Presiunile parțiale ale participațiilor A și B, conform legii lui Dalton $p_A = x_A P$, $p_B = x_B P$ (P — presiunea totală a sistemului).

Deci:

$$p_A = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} P; \quad p_B = \frac{2\alpha}{1+\alpha} P.$$

Deci, constanta de echilibru K_p, dată de legea acțiunii maselor

a lui Guldberg și Waage: $K_p = \pi(p_i)\nu_i$, (unde ν_i — coeficientul stoichiometric se ia cu semnul minus pentru reactanți și cu semnul plus pentru produși, p_i — presiunea parțială a participantului), se exprimă pentru reacția considerată:

$$K_p = \frac{p_B^2}{p_A} = \frac{4\alpha^2}{1\alpha^2} P. \quad (6)$$

Printr-un raționament analog, se găsește pentru o reacție de disociere de forma:

$$A \rightleftarrows B + 1/2C,$$

expresia constantei de echilibru funcție de **g. de d.** fiind:

$$K_p = \frac{\alpha^{3/2}}{(1-\alpha)(2+\alpha)^{1/2}} P^{1/2}. \quad (7)$$

GRAD DE FUM (Sin.: **Cifră de fum**). Criteriu de evaluare privind emisia de fum a motoarelor diesel, exprimat prin raportul dintre cantitatea de funingine conținută în gazele de evacuare ale motorului (carbon rezultat ca urmare a arderii incomplete în motor) și cantitatea gazelor arse evacuate de motor în unitatea de timp.

Emisiile de fum ale motoarelor diesel sînt de trei feluri:

— **fum alb**, care apare la pornirea motorului rece și care este format din particule lichide de combustibil nears (provenite din condensarea picăturilor de combustibil pulverizat, care nu se aprinde, din cauza temperaturii scăzute a pereților camerei de ardere); dimensiunile acestor picături sînt de cca 1 micron;

— **fum albăstrui strălucitor**, caracteristic regimului de mers în gol al motorului și care este format din particule de combustibil nears (avînd dimensiuni de cca 0,5 microni) și particule de ulei;

— **fum negru**, sub formă de funingine (particule de carbon avînd dimensiunile 0,5—1 micron), specific regimurilor de încărcare maximă ale motorului.

Există o relație strînsă între formarea funinginei în camera de ardere și eficiența arderii amestecului combustibil în motor. Formarea depozitelor de funingine evidențiază o defecțiune în raportul aer-combustibil (exces de combustibil sau deficit de aer). Prin mărirea cantității de combustibil injectat în camera de ardere, puterea motorului va crește, dar în același timp va crește și cantitatea de funingine. La depășirea unei anumite proporții de funingine din gazele arse, aceasta va impurifica considerabil amestecul proaspăt în camera de ardere, puterea motorului înregistrînd o scădere bruscă. Formarea funinginii reprezintă o limită a creșterii puterii motoarelor diesel.

Analize și studii sistematice privind poluarea aerului în centrele puternic urbanizate au arătat că cca 2% din totalul particulelor solide conținute în atmosferă provin din gazele de evacuare ale motoarelor diesel. Avînd în vedere efectul nociv al fumului asupra sănătății oamenilor și înrăutățirea condițiilor de circulație a autovehiculelor pe artere rutiere cu degajări de fum dens, se evidențiază importanța și necesitatea măsurării cît mai exacte a cantităților de fum degajate de motoarele diesel, în vederea măsurilor privind reducerea emisiilor de fum.

Determinarea **g. de f.** se realizează cu ajutorul unor aparate numite fummetre (v. **Fummetru**).

GRAD DE IONIZARE. Fracțiune din numărul total de molecule care formează ioni prin reacție cu solventul:

$$\alpha = \frac{\text{număr de molecule ionizate}}{\text{număr total de molecule}}.$$

Reacțiile de ionizare sînt reacțiile moleculelor neutre cu solventul. Exemple de astfel de reacții:

$$CH_3COOH + H_2O = H_3O^+ + CH_3COO^-;$$

$$HCl + H_2O = H_3O^+ + Cl^-.$$

O metodă practică de determinare a **g. de i.** α, la o anumită concentrație c, se bazează pe determinarea conductibilităților la concentrația respectivă Λ_c și la diluție infinită Λ_∞ **G. de i.** este dat de:

$$\alpha = \frac{\Lambda_c}{\Lambda_\infty}. \quad (1)$$

Termenul de **g. de i.** α se folosește în general pentru electroliții slabi.

GRAD DE UMPLERE (Sin.: **Randament volumetric; Coeficient de umplere**). Criteriu de perfecțiune a procesului de admisie pentru motoare cu ardere internă.

Umplerea cilindrilor cu încărcătură proaspătă este un proces foarte important din punctul de vedere al lucrului mecanic al ciclului, puterea motorului fiind cu atît mai ridicată, cu cît cantitatea de încărcătură proaspătă admisă în cilindru este mai mare. Pentru aprecierea perfecțiunii umplerii se utilizează drept criteriu cantitativ **g. de u.**, care se definește prin

Scanned with OKEN Scanner

raportul dintre masa încărcăturii proaspete m intrată în realitate în cilindri la sfîrşitul cursei de admisie şi masa m_0 a încărcăturii proaspete care ar ocupa cilindreea în condiţii teoretice de referinţă (condiţii standard şi fără pierderi termogazodinamice):

$$\eta_v = \frac{m}{m_0}.$$

Condiţiile de referinţă, corespunzătoare masei m_0, sînt: $p_0 = 1$ bar şi $T_0 = 293$ K.

Exprimînd masa m_0 în funcţie de densitatea ρ_0 [kg/m^3] în condiţii de referinţă şi de volumul cilindrului V_l [m^3], expresia **g. de u.** devine:

$$\eta_v = \frac{m}{\rho_0 V_l} = \frac{V}{V_l};$$

$V = \frac{m}{\rho_0}$ reprezintă volumul încărcăturii proaspete care intră în cilindru la sfîrşitul admisiei, măsurat în condiţii de referinţă (p_0, T_0).

Pierderile termogazodinamice reprezintă micşorarea volumului încărcăturii proaspete (V), datorită creşterii temperaturii (respectiv micşorării densităţii încărcăturii) şi micşorarea cantităţii efective admise în cilindri, ca urmare a acţiunii rezistenţelor gazodinamice în canalele de admisie din culase.

Valorile uzuale ale **g. de u.** pentru motoare cu ardere internă sînt cuprinse în limitele 0,75—0,95.

GRAD TERMOMETRIC. Diviziune a unei scări de temperatură.

Gradul centigrad. Este o diviziune a scării internaţionale de temperatură (v. Scară de temperatură).

Gradul Celsius [°C]. Este diviziunea scării de temperatură cu acelaşi nume, care atribuie valoarea zero punctului de topire al gheţii şi valoarea 100, punctului de fierbere al apei, ambele la presiunea de 1 Atm.

Gradul Kelvin [K]. Este dimensiunea scării termodinamice de temperatură, care are ca interval aceeaşi mărime ca gradul Celsius. Valorile punctelor de reper ale scării însă diferă. Astfel, temperaturii de 0°C îi corespund 273,15 K, iar celei de 100 °C, 373,15 K; deci T[K] = t[°C] + 273,15.

Gradul Réaumur [°Re]. Este diviziunea scării de temperatură cu acelaşi nume, care atribuie valoarea 0 °Re, punctului de topire al gheţii şi cea de 80°Re, punctului de fierbere al apei: t[°C] = 4/5t[°Re].

Gradul Fahrenheit [°F]. Este diviziunea scării de temperatură omonime. Punctul de topire al gheţii corespunde temperaturii de 32 °F, iar punctul de fierbere al apei, celei de 212 °F. Legătura între temperatura măsurată în grade Celsius şi aceeaşi temperatură măsurată în °F, este asigurată de relaţia: t[°C] = 5/9 t[°F]—32.

Gradul Rankine [°Ra]. Este diviziunea scării absolute cu acelaşi nume, avînd reperul zero comun cu cel al scării Kelvin şi mărimea (ca interval de temperatură) egală cu cea a gradului Fahrenheit, astfel că: T[°Ra] = t[°F] + 460.

GRADE DE LIBERTATE (în teoria cinetico-moleculară). Sînt date de direcţiile de mişcare ale moleculei. Fiind posibile trei tipuri de mişcări ale moleculelor — translaţie, rotaţie, vibraţie — moleculele pot să posede grade de libertate de translaţie f_{tr}, de rotaţie f_{rot} şi de vibraţie f_{vib}. O moleculă a unui gaz se poate mişca liber în trei direcţii diferite, corespunzînd celor trei axe de coordonate. În teoria cinetico-moleculară se spune că o astfel de moleculă are trei grade de libertate pentru mişcările ei de translaţie $f_{tr} = 3$. Moleculele biatomice, spre deosebire de moleculele monoatomice (care se caracterizează numai prin mişcări de translaţie), pot suferi şi mişcări de rotaţie în jurul centrului de greutate al moleculei şi mişcări de vibraţie (apropieri şi depărtări succesive ale atomilor de centrul de greutate al moleculei). În general, rotaţia echivalează cu trei grade de libertate; acestea corespund proiectării momentului de rotaţie pe trei direcţii stabile perpendiculare. În cazul moleculei biatomice, se iau în considerare numai două grade de libertate de rotaţie $f_{rot} = 2$, întrucît rotaţia în jurul axei internucleare nu modifică starea moleculei. La vibraţia moleculei apar două tipuri de energii — cinetică şi potenţială, aşa încît $f_{vib} = 2$ pentru fiecare mod de vibraţie posibil. Spre deosebire de translaţie şi rotaţie, mişcarea de vibraţie este excitată numai la temperaturi înalte (peste 1 000°C).

Deci, o moleculă monoatomică se caracterizează printr-un număr de grade de libertate $f = f_{tr} = 3$. În cazul unei molecule biatomice la temperatura camerei: $f_{tr} = 3$, $f_{rot} = 2$, $f_{vib} = 0$, deci $f = 5$; la temperaturi înalte: $f_{tr} = 3$, $f_{rot} = 2$, $f_{vib} = 2$, rezultă $f = 7$.

Pentru a afla numărul **g. de l.** al moleculelor poliatomice este necesar să se calculeze numărul mişcărilor de vibraţie posibile.

Numărul mişcărilor de vibraţie posibile se poate calcula plecînd de la numărul mişcărilor independente ale atomilor din moleculă. Notînd prin μ, numărul de

Scanned with OKEN Scanner

atomi, numărul total de mișcări ale acestora este 3μ, fiecărui atom corespunzîndu-i trei coordonate. Numărul mișcărilor de vibrație (N_{vib}) se obține ca diferența între numărul total de mișcări și numărul mișcărilor de translație N_{tr} și rotație N_{rot}:

$$N_{vib}=3\mu-(N_{tr}+N_{rot}) \qquad (1)$$

sau, ținînd cont că la translație și rotație numărul de mișcări este egal cu numărul gradelor de libertate, iar la vibrație, $f_{vib}=2N_{vib}$:

$$f_{vib}=6\mu-2(f_{tr}+f_{rot}). \qquad (2)$$

La moleculele poliatomice liniare $f_{tr}=3$ și $f_{rot}=2$, așa încît: $f_{vib}=6\mu-10$; la temperaturi înalte se găsește $f=f_{vib}+f_{tr}+f_{rot}=6\mu-5$ (la temperaturi moderate vibrația rămîne neexcitată, deci $f=5$).

La moleculele poliatomice neliniare $f_{tr}=3$ și $f_{rot}=3$. Din relația (2) rezultă: $f_{vib}=6\mu-12$. La temperaturi înalte $f=6\mu-6$.

Cunoașterea **g. de l.** de mișcare ale moleculelor este utilizată pentru evaluarea aproximativă a căldurilor specifice molare ale gazelor, în lipsa unor date experimentale. Conform teoremei echipartiției energiilor, fiecare grad de libertate de mișcare aduce o contribuție de $R_M/2$ (R_M — constanta universală a gazelor) la căldura specifică molară la volum constant:

$$C_v=fR_M/2. \qquad (3)$$

Ținînd cont de relația lui Mayer: $C_p-C_v=R_M$, rezultă:

— pentru gaze monoatomice:

$$C_v=3R_M/2;\ C_p=5R_M/2$$

— pentru gaze biatomice:
  — la temperatura de 20°C: $C_v=5R_M/2$; $C_p=7R_M/2$
  — la temperaturi înalte: $C_v=7R_M/2$; $C_p=9R_M/2$

— pentru gaze poliatomice liniare (CO_2, HCN, C_2H_2):
  — la temperatura de 20°C: $C_v=5R_M/2$; $C_p=7R_M/2$
  — la temperaturi înalte: $C_v=(6\mu-5)\cdot R_M/2$; $C_p=(6\mu-3)R_M/2$

— pentru gaze poliatomice neliniare (H_2O, CH_4 etc.):
  — la temperaturi moderate: $C_v=6R_M/2$; $C_p=8R_M/2$
  — la temperaturi înalte: $C_v=(6\mu-6)R_M/2$; $C_p=(6\mu-4)R_M/2$.

GRADE DE LIBERTATE (în termodinamica chimică). Numărul de parametri care poate fi variat în mod independent și care definește complet starea unui sistem termodinamic. Numărul de **g. de l.** care definește starea unui sistem termodinamic este dat de legea fazelor enunțată de Gibbs [v. Gibbs (Regula fazelor)].

GRADIENT DE TEMPERATURĂ. Variația maximă a temperaturii pe unitatea de lungime. Este o mărime vectorială, rezultată din aplicarea operatorului simbolic al lui Hamilton asupra cîmpului scalar de temperaturi:

$$\text{grad } T=\nabla T=\vec{i}\frac{\partial T}{\partial x}+\vec{j}\frac{\partial T}{\partial y}+\vec{k}\frac{\partial T}{\partial z}.$$

Ca poziție, vectorul grad T este perpendicular pe suprafața izotermă, lucru evidențiat la compararea diferențelor temperaturii și vectorului de poziție:

$$dT=\frac{\partial T}{\partial x}dx+\frac{\partial T}{\partial y}dy+\frac{\partial T}{\partial z}dz;$$

$$d\vec{r}=\vec{i}dx+\vec{j}dy+\vec{k}dz.$$

G. de t. are valoare maximă pe direcția normalei la suprafața izotermă. **G. de t.** pe direcția normalei reprezintă drumul de minimă rezistență pentru fenomenul de propagare a căldurii.

GRĂTAR. Dispozitiv utilizat la focarele instalațiilor de ardere pentru arderea în strat a combustibililor solizi. **G.** are rolul de a susține cărbunele în timpul desfășurării procesului de ardere și, totodată, de a permite aerului primar necesar arderii să pătrundă cît mai uniform prin stratul de combustibil. În acest scop, **g.** este prevăzut cu orificii sau fante prin care se introduce aerul primar necesar arderii.

Mărimile caracteristice ale unui **g.** sînt:

— suprafața totală, care reprezintă aria de așezare a combustibilului; raportul dintre suprafața liberă și această suprafață totală are valori cuprinse între 0,25 și 0,75, în funcție de modul de introducere al aerului în focar (prin tiraj natural sau forțat);

— încărcarea mecanică specifică, care reprezintă raportul dintre debitul de com-

Scanned with OKEN Scanner

bustibil B [kg/s] și suprafața totală a g. S_{gr} [m²]:

$$b_{gr}=\frac{B}{S_{gr}} \quad [kg/m^2 \cdot s]$$

— încărcarea termică specifică aparentă, care reprezintă raportul dintre căldura dezvoltată prin arderea completă a combustibilului cu puterea calorifică inferioară H_i [kJ/kg] și suprafața totală S_{gr} [m²]:

$$q_{gr}=\frac{BH_i}{S_{gr}} \quad [kJ/m^2]$$

În funcție de gradul de mobilitate, g. se împart în două categorii principale: g. fixe și g. mobile (acționate mecanic).

G. fixe sînt construite dintr-un cadru pe care se montează bare metalice. Aceste g. pot fi cu bare orizontale (Fig. G.54*a*) sau cu bare înclinate (Fig. 54*b*) pînă

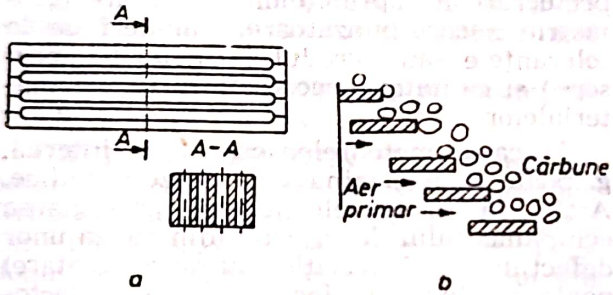


Fig. G.54. Grătare fixe:
a — cu bare orizontale; *1* — cu fante longitudinale; *2* — cu fante transversale.

la 40°...50°, în funcție de natura și granulația combustibilului. Datorită faptului că nu are loc o răscolire a stratului de combustibil, arderea nu este intensificată, ceea ce conduce la pierderi mecanice mari (combustibil nears), randamentul arderii scăzînd la cca 40—50%. În vederea îmbunătățirii randamentului de ardere, se utilizează g. cu bare oscilante care au rolul de a deplasa combustibilul și de a elimina zgura (Fig. G.55), randamentul acestor g. putînd atinge valori de 70%.

G. mobile (mecanice) sînt acționate mecanic, ceea ce conduce la intensificarea procesului de ardere al combustibilului, la uniformizarea regimului termic din focar și la o stabilitate a arderii combustibilului. Dintre aceste tipuri de g. se disting: g. cu lanț și g. cu împingere.

G. rulant cu lanț (Fig. G.56) este format dintr-o bandă rulantă *1*, acționată de două tambure *2*; combustibilul

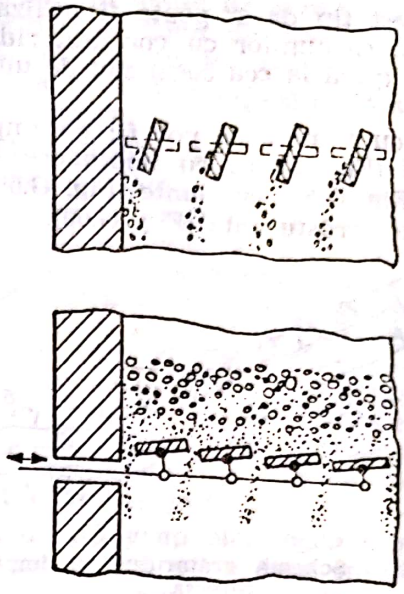


Fig. G.55. Grătar cu bare oscilante și alimentare mecanizată a combustibilului.

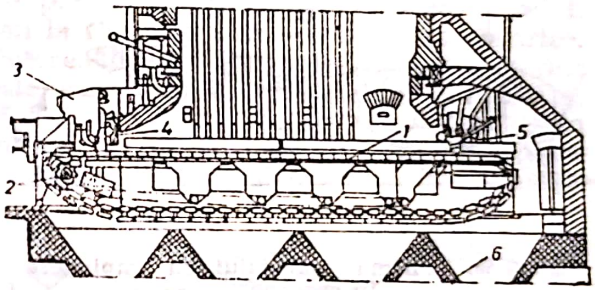


Fig. G.56. Grătar rulant:
1 — bandă (lanț) rulantă; *2* — tambur motor; *3* — pîlnie de alimentare; *4* — clapetă de reglare; *5* — opritor pentru zgură; *6* — pîlnie de zgură.

coboară prin pîlnia *3* și este dozat de șiberul *4*, grosimea stratului fiind astfel reglată încît arderea să aibă loc cît mai complet. G. se deplasează cu o viteză de cca 2—30 m/h, iar zgura este evacuată prin pîlnia *6*. Aerul primar necesar arderii este insuflat pe sub g., preîncălzindu-se astfel pînă la 120—160 °C. Aprinderea cărbunelui se realizează datorită radiației pereților focarului.

G. cu împingere realizează prin mișcarea barelor deplasarea și răscolirea combustibilului, precum și evacuarea zgurii din focar. Prin răscolire, se realizează un contact mai bun între oxigen și combustibil, o bună amestecare între combustibilul incandescent (jăratic) și combustibilul proaspăt, precum și un timp mai îndelungat de staționare a combustibilului pe grătar, în consecință, o ardere comple-

Scanned with OKEN Scanner

tă. Acest tip de g. poate fi utilizat și la arderea cărbunilor cu conținut ridicat de cenușă (pînă la cca 50%) sau de umiditate (pînă la circa 50%).

G. cu împingere pot fi: cu împingere directă (Fig. G.57), cu împingere în cascadă (Fig. G.58), oscilante (Fig. G.59) și cu împingere răsturnată (Fig. G.60).

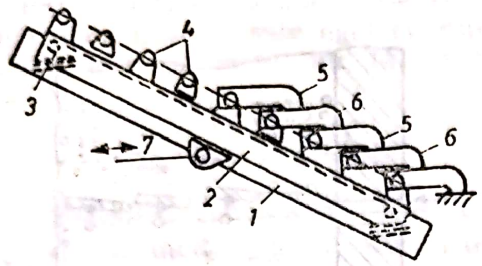


Fig. G.57. Schema grătarului cu împingere directă:
1 — cadru fix; *2* — cadru mobil; *3* — role; *4* — tije transversale; *5* — bare mobile; *6* — bare fixe.

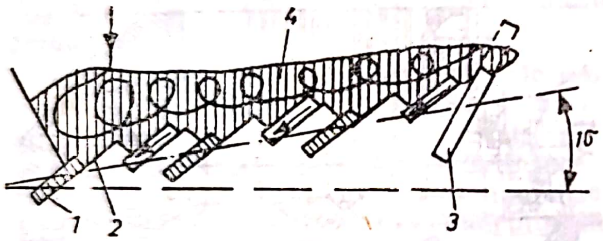


Fig. G.58. Schema grătarului cu împingere în cascadă:
1 — bară mobilă; *2* — bară fixă; *3* — opritor; *4* — stratul de cărbune.

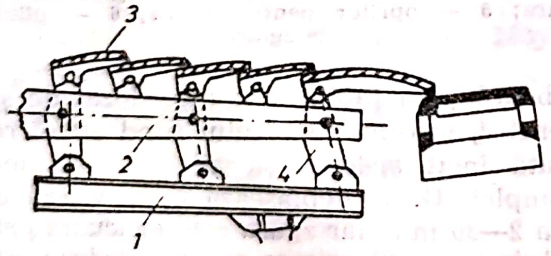


Fig. G.59. Schema grătarului oscilant:
1 — cadru fix; *2* — cadru mobil; *3* — bare; *4* — pirghii oscilante.

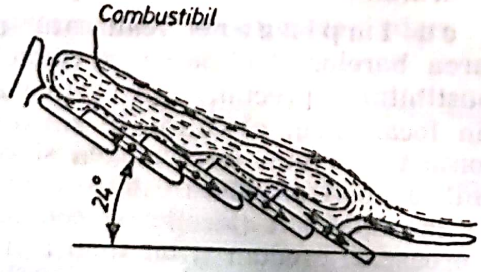


Fig. G.60. Schema grătarului cu împingere răsturnată.

GRIPARE. Accident în funcționarea unei mașini, constînd în blocarea unui organ mobil sau micșorarea bruscă a vitezei acestuia, din cauza creșterii excesive a coeficientului de frecare dintre suprafața organului mobil și suprafața organului cu care acesta este în contact.

G. se poate produce la organe în mișcare de translație (g. unui piston în cilindru sau a unui cap de cruce pe glisiere) sau la organe în mișcare de rotație (g. unui arbore în lagăr) și apare ca urmare a încălzirii exagerate a cuplului de piese în mișcare relativă. **G.** determină eroziunea sau rizarea suprafețelor în mișcare, eventual topirea materialului cu punct de fuziune mai scăzut și, ca urmare, imobilizarea organelor respective.

Principalele cauze care produc **g.** sînt: ungere insuficientă (cantitate sau calitate necorespunzătoare a lubrifiantului), răcire insuficientă, pătrunderea unor particule erozive între suprafețele de frecare (filtrare defectuoasă a lubrifiantului), erori de prelucrare a suprafețelor de frecare (geometrie necorespunzătoare, abateri de la toleranțele sau gradul de netezime prescris) și calitatea necorespunzătoare a materialelor.

În cazul motoarelor cu ardere internă, **g.** poate fi determinată de cauze specifice. Astfel, la motoarele diesel, dereglarea echipamentului de injecție (din cauza unor defecțiuni de fabricație sau de exploatare) poate conduce la blocarea acului injectorului în poziția „deschis"; ca urmare a acestui fapt, are loc scăderea presiunii de injecție și creșterea apreciabilă a cantității de motorină care intră în cilindru sub formă de picături de dimensiuni mari, spălînd capul pistonului. Arderea acestei cantități mărite de combustibil se produce în cursul tuturor celor patru timpi ai ciclului; pistonul nu mai este răcit în timpul admisiei aerului proaspăt, urmarea fiind încălzirea excesivă a capului pistonului, dilatarea anormală, eliminarea filmului de ulei dintre piston și cilindru, frecarea pe metal și, în final, **g.** pistonului. În figurile G.61 și G.62 sînt prezentate două cazuri

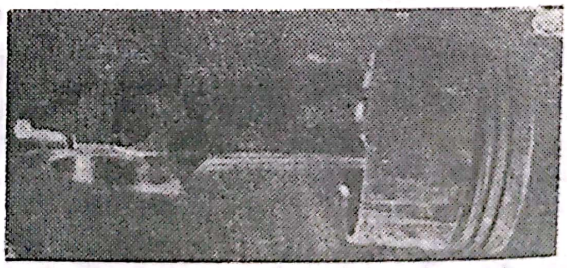


Fig. G.61. Piston de motor cu aprindere prin scînteie (de autovehicul), ușor gripat.

Scanned with OKEN Scanner

Fig. G.62. Piston de motor diesel, gripat violent.

de **g.** Figura G.61 reprezintă o **g.** ușoară a unui piston de autovehicul, iar figura G.62 ilustrează un caz de **g.** violentă a pistonului unui motor diesel, asociată cu topirea unei zone a capului pistonului.

GRUP. În domeniul mașinilor termice, este un ansamblu de mașini, de piese sau de lucrări, făcînd de obicei parte dintr-un ansamblu mai cuprinzător și destinat unei operații tehnice.

Exemple: **g.** electrogen; **g.** motocompresor; **g.** de pompare etc.

GRUP ELECTROGEN (Sin.: **Grup generator electric; Grup Diesel generator; Grup motogenerator**). Unitate compusă dintr-un generator de energie electrică acționat de un motor, turbină cu abur sau gaze etc. Există **g. e.** de putere mică, de obicei transportabile, acționate de motoare termice cu benzină (ex.: de campanie), **g. e.** acționate de motoare diesel de diferite puteri, mobile (pe cărucioare sau sănii) și stabile (Fig. G.63) și **g. e.** de obicei stabile

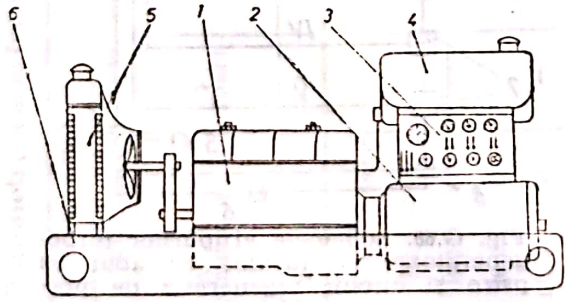


Fig. G.63. Grup electrogen cu motor diesel: *1* — motor diesel; *2* — alternator; *3* — tablou de bord; *4* — rezervor; *5* — radiator; *6* — cadru de susținere.

acționate de turbine cu abur, cu gaze sau hidraulice, mai rar eoliene.

G. e. se folosesc, în principal, ca mașini de intervenție la întreruperile de curent electric. În astfel de cazuri, ele intră în funcțiune în timp de 10—30 secunde datorită menținerii lor calde în permanență și a pornirii cu o baterie proprie de acumulatoare.

GRUP ENERGETIC. Ansamblu format dintr-o mașină motoare și una generatoare, împreună cu instalațiile anexe (ex.: grup turbină cu abur — generator electric, grup de motocompresor, grup de pompare etc.). Denumirea de **g. e.** este proprie în special instalațiilor producătoare de energie electrică din centrale electrice, acestea purtînd denumiri corespunzătoare tipului de centrală respectiv: grup electrogen (Diesel-electric), grup hidrogenerator, grup turbogenerator cu turbină de abur sau cu turbină de gaze.

G. e. de tip grup electrogen este echipat cu un motor cu ardere internă (de obicei motor diesel), ce antrenează un generator electric care poate fi de curent alternativ sau de curent continuu. În prezent, sînt utilizate ca grupuri de intervenție pentru consumatorii de grad 0 sau I, sau la centrale termo- și nuclearo-electrice. Puterea acestor grupuri Diesel electrice este cuprinsă de regulă între 50 kW și 35 000 kW. Motoarele de antrenare sînt în marea lor majoritate cu supraalimentare cu turbosuflantă (Fig. G.64). Consumurile

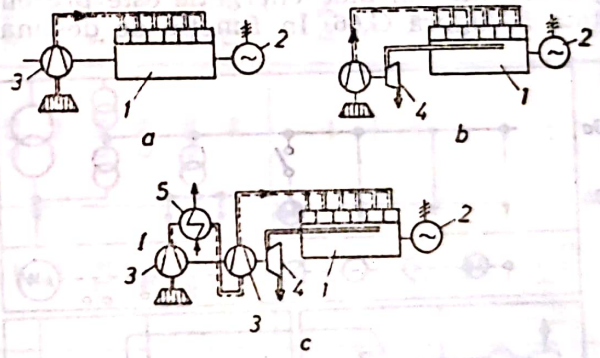


Fig. G.64. Schemele grupurilor electrogene cu motoare diesel supraalimentate:

a — cu suflantă antrenată de la arborele motor; *b* — cu turbosuflantă într-o singură treaptă; *c* — cu turbosuflantă în două trepte, cu răcire intermediară; *1* — motor diesel; *2* — generator electric; *3* — turbosuflantă; *4* — turbină de antrenare a suflantei; *5* — răcitor intermediar de aer.

aer; gaze arse; apă de răcire.

specifice ale acestor grupuri sînt cuprinse între 210 și 300 g/kWh combustibil lichid. În figura G.65 este prezentată dispoziția grupurilor într-o centrală.

G. e. de tip hidrogenerator este alcătuit dintr-o turbină hidraulică și un generator electric de curent alternativ. În funcție de natura amenajării hidroenergetice, a de-

Scanned with OKEN Scanner

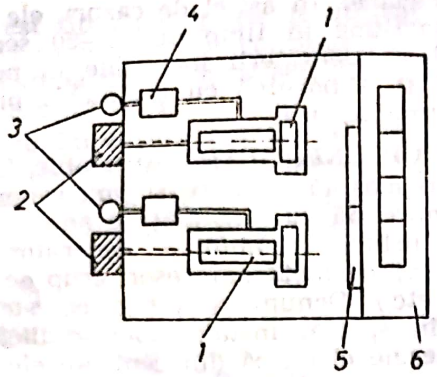


Fig. G.65. Dispoziția grupurilor electrogene într-o centrală:
1 — grup electrogen (motor-generator); *2* — filtru de aer; *3* — țeavă de evacuare; *4* — recuperator de căldură de la gazele arse; *5* — tablouri de comandă; *6* — sala echipamentului electric.

bitului de apă și a căderii disponibile, se alege tipul turbinei (Kaplan, Pelton, Francis, bulb etc.).

G. e. de tip turbogenerator cu turbină cu abur este ansamblul din centrala termo(nucleară)-electrică, care transformă energia potențială a aburului în energie electrică. Acest grup este alcătuit din turbină, generator și instalația de preîncălzire a apei de alimentare. Dispoziția grupurilor într-un bloc energetic este prezentată în figura G.66. În funcție de destinația centralei, grupurile pot fi: cu condensație pură la centralele termoelectrice, cu condensație și prize reglabile sau cu contrapresiune și priză reglabilă, cu termoficare etc. În figura G.67 sînt

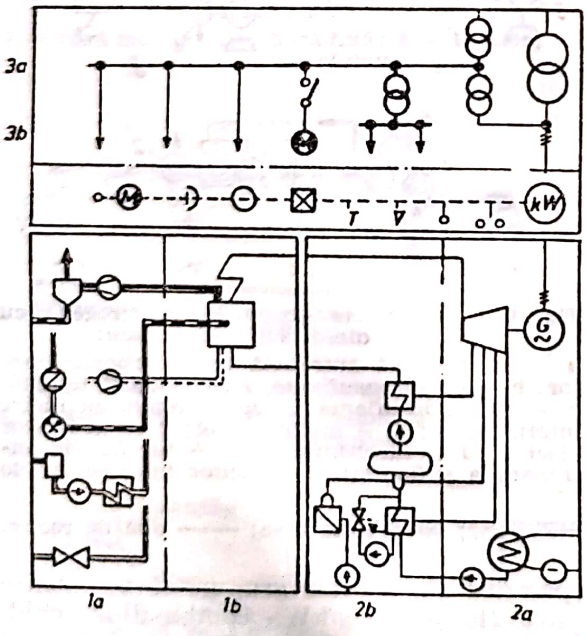


Fig. G.66. Dispoziția grupurilor în cadrul blocului energetic:
1 — grup pentru prepararea combustibilului (1a) și de producere a aburului (*1.b*); *2* — grup de producere a energiei electrice (*2.a*) și de preîncălzire a apei (*2.b*); *3* — grup de comutație electrică (*3.a*) și reglare (*3.b*).

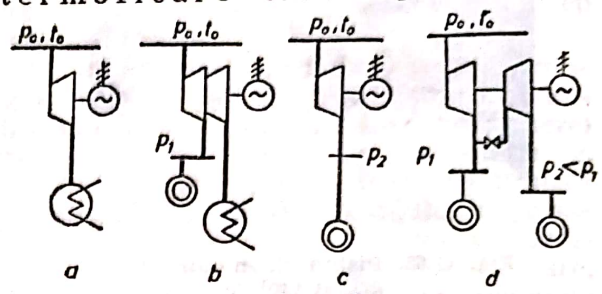


Fig. G.67. Schemele grupurilor turbogeneratoare cu turbine cu abur:
a — cu condensație pură; *b* — cu condensație și priză reglabilă; *c* — cu contrapresiune; *d* — cu contrapresiune și priză reglabilă.

prezentate schemele de principiu ale acestor grupuri, iar în tabelul G.4 sînt date unele caracteristici funcționale ale grupurilor turbogeneratoare cu turbină de abur.

Instalația de preîncălzire regenerativă are ca efect îmbunătățirea randamentului termodinamic al blocului energetic. Schema de legături între sistemul regenerativ și turbină este prezentată în figura G.68.

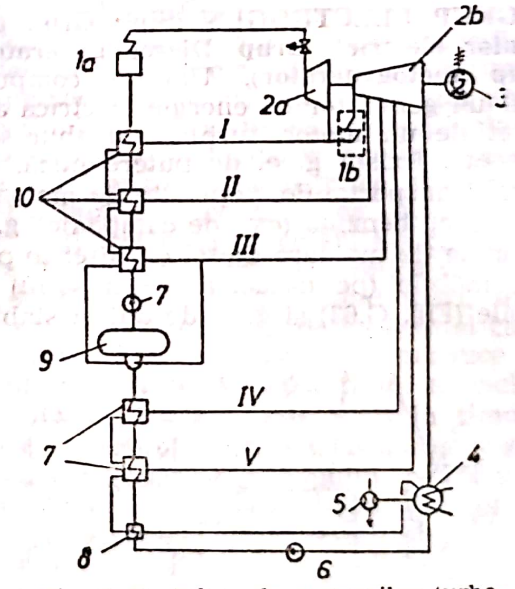


Fig. G.68. Schemele grupurilor turbogeneratoare cu turbină cu abur cu prize și circuit regenerativ de preîncălzire:
1.a — cazan; *1.b* — preîncălzitor intermediar; *2.a* — corpul de înaltă presiune al turbinei cu abur; *2.b* — corpul de joasă presiune al turbinei cu abur; *3* — turbogenerator; *4* — condensator de abur; *5* — ejector pentru evacuarea aerului din condensator; *6* — pompă de alimentare; *7* — preîncălzitor de joasă presiune; *8* — răcitor de condens; *9* — degazor termic; *10* — preîncălzitoare de înaltă presiune; *I—V* — prizele fixe ale turbinei cu abur.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul G.4

Parametrii caracteristici ai unor grupuri turbogeneratoare fabricate în R. S. România — 1984

TURBINĂ							TURBOGENERATOR				SIST. REGENERATIV			TIP GRUP
Tip	Putere P [MW]	Abur viu		Prize reglabile		Presiune la condens. p_c [bar]	Tip	Putere activă P_a [MVA]	Tensiune U [kV]	cos φ	Număr preîncălzit înaltă presiune	Număr preîncălzit joasă presiune	Temp. apă alim. preîncălz. t_{al} [°C]	
		p_0 [bar]	t_0 [°C]	p_1 [bar]	p_2 [bar]									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
AC 4	4	34,3	435	—	—	0,05	T-4-2	5	6,3	0,8	—	—	—	CU CONDENSAȚIE PURĂ
AC 6	6	34,3	435	—	—	0,05	T-6-2	7,5	6,3	0,8	—	—	—	
AC 2	12	34,3	435	—	—	0,05	T-12-2	15	6,3	0,8	—	—	—	
CC 50/60	50	88,2	535	—	—	0,085	TH-50-300	58,8	13,8	0,85	3	3	218	
FIC 330	330	182,3	535	—	—	0,04	THA-330-2	388,2	21	0,85	3	3	260	
AS 3	3	34,3	435	9,8	—	0,08	T-3-2	3,75	6,3	0,8	—	—	—	CU CONDENSAȚIE ȘI PRIZE REGLABILE
AT 6	6	34,3	435	14,7	—	0,08	T-6-2	7,5	6,3	0,8	—	—	—	
AS 7	7	34,3	435	9,8	—	0,08	T-7-2	8,75	6,3	0,8	—	—	—	
ASL 12	12	88,2	535	9,8	1,2	0,08	T-12-2	15	6,3	0,8	—	—	—	
CR 12	12	88,2	535	14,7	7	0,08	T-12-2	15	6,3	0,8	—	—	—	
DSL 50	50	127,4	565	13	1,2	0,05	THA-60-2	62,5	10,5	0,8	3	3	218	
FIL 150	150	182,3	535	2,5	1,2	0,04	THA-160-2	188,2	15,75	0,85	3	3	260	
AKP 3	3	34,3	435	—	3	—	T-3-2	3,75	6,3	0,8	—	—	—	CU CONTRAPRESIUNE ȘI PRIZĂ REGLABILĂ
AKTR 4	4	34,3	435	14,7	7	—	T-4-2	5	6,3	0,8	—	—	—	
AKTR 6	6	34,3	435	14,7	7	—	T-6-2	7,5	6,3	0,8	—	—	—	
CKTR 12	12	88,2	535	14,7	7	—	T-12-2	15	6,3	0,8	—	—	—	
DKU 50	50	127,4	565	18±3	—	—	THA-60-2	62,5	10,5	0,8	—	—	—	
DKUL 50	50	127,4	565	18±3	$1,2^{+1,3}_{-0,5}$	—	THA-60-2	62,5	10,5	0,8	—	—	—	

Scanned with OKEN Scanner

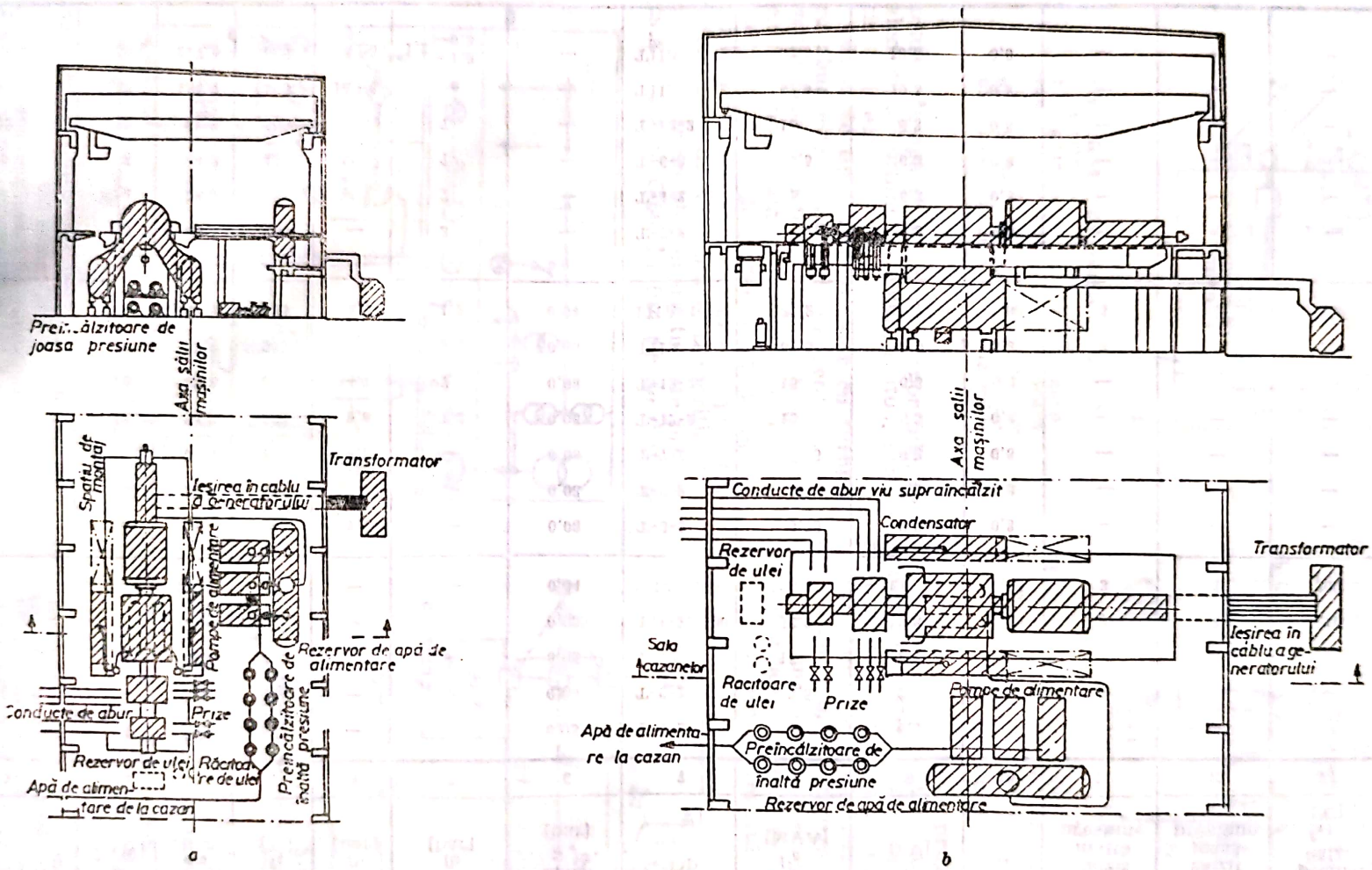


Fig. G.69. Sisteme de amplasare a grupului turbogenerator și de preîncălzire:

a — grupul turbină-generator, dispus paralel cu axa sălii mașinilor;
b — grupul turbină-generator, dispus perpendicular pe axa sălii mașinilor.

Alimentarea cu căldură a preîncălzitoarelor de apă de alimentare se realizează cu abur prelevat la prizele fixe sau reglabile ale turbinei. În figura G.69 sînt prezentate variantele uzuale de amplasare a grupului turbogenerator în sala mașinilor dintr-o centrală termoelectrică.

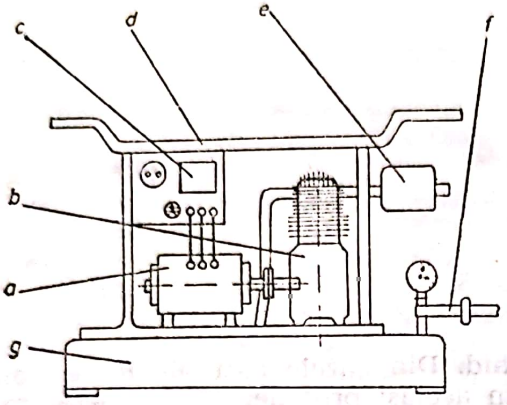


Fig. G.70. Motocompresor pentru garaje auto:
a — motor electric; *b* — compresor; *c* — tablou de comandă; *d* — cadru de susținere; *e* — filtru de aer; *f* — racord de aer comprimat; *g* — rezervor de aer.

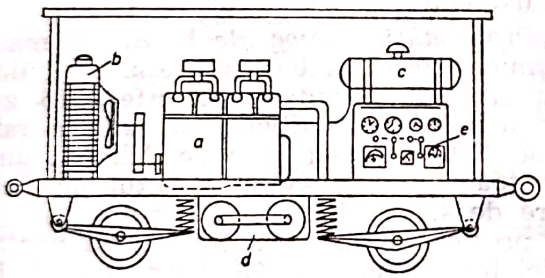


Fig. G.71. Motocompresor de intervenție:
a — motocompresor; *b* — radiator; *c* — rezervor de combustibil; *d* — rezervoare de aer comprimat; *e* — tablou de comandă.

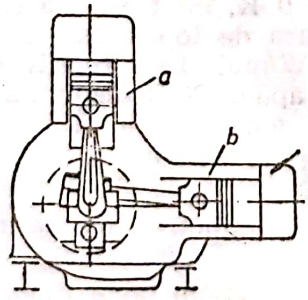


Fig. G.72. Motocompresor pentru „gaz-lift":
a — cilindru motor;
b — cilindru compresor.

G. e. de tip turbogenerator cu turbină de gaze face parte din instalația de turbină cu gaze și este format din turbina cu gaze și generatorul electric (v. Turbină cu gaze).

GRUP MOTOCOMPRESOR. Utilaj complex, compus dintr-un motor de acționare și un compresor pentru producerea de aer comprimat. Se construiește cu motor electric (Fig. G.70) sau termic, în general cu motor diesel. În general, cilindrii de compresor formează corp comun cu motorul. Se citează ca exemple unele motocompresoare montate pe cărucioare împreună cu aparatele auxiliare, formînd unități de intervenție mobile (Fig. G.71), sau motocompresoarele stabile ale instalațiilor de „gaz-lift" din industria petrolieră (Fig. G.72).

GURĂ DE ASPIRAȚIE. Piesă dintr-un ansamblu (dispozitiv) al unei rețele de distribuție a aerului într-o instalație de ventilare, de condiționare sau de desprăfuire. Prin **g. de a.** aerul iese sau intră într-o incintă, o instalație etc., sau iese în mediul înconjurător. **G. de a.** are secțiunea dreptunghiulară sau circulară. De obicei, **g. de a.** au prevăzute, la intrarea la suprafața liberă, plase de sîrmă, jaluzele sau grătare cu rol protector. Cînd aceste ecrane sînt mobile (putînd fi comandate mecanic sau electric), se poate varia debitul și orientarea curentului de aer. O **g. de a.** trebuie să îndeplinească următoarele condiții: să opună o rezistență minimă la trecerea aerului; să nu confere senzația de curent; să aibă posibilitatea de reglare a debitului de aer.

GURĂ DE VIZITARE. Deschidere de secțiune eliptică sau circulară, practicată în pereții transversali sau longitudinali ai rezervoarelor sau tancurilor de depozitare, în scopul întreținerii acestora. Dimensiunile **g. de v.** sînt de obicei standardizate; cînd dimensiunile ei permit trecerea unui om, atunci **g. de v.** se numește „gură de om". **G. de v.** este consolidată cu o ramă sudată sau nituită în care sînt fixate prezoane pentru montarea unui capac etanș.

Scanned with OKEN Scanner

H

HELIU. Gaz, situat al doilea ca element chimic în sistemul periodic și primul, în grupa a VIII-a, numită și grupa gazelor rare sau nobile. Are numărul atomic 2, simbolul He și masa atomică 4,003. Prezintă doi izotopi stabili: cu numărul de masă 3, în proporție de 10^{-5}% în heliul natural, și cu numărul de masă 4, în proporție de ~100%. **H.** cu numărul de masă 6 se obține prin reacții nucleare. Este instabil și se dezintegrează cu emisie de particule β, avînd timpul de înjumătățire de 0,89 sec. În condiții obișnuite este un gaz incolor și inodor cu molecula monoatomică. Existența sa a fost semnalată în 1868 în spectrul soarelui, iar pe pămînt a fost pus în evidență în 1895 de Ramsay în gazul izolat prin calcinarea cleveitei, un minereu de uraniu.

Este prezent în aerul atmosferic (1 m^3 de aer conținînd 5 cm^3 heliu) și în cantități mici, în toate mineralele ce conțin elementele radioactive uraniu și toriu (monazita, torianita și cleveita), provenind din transformările radioactive ale acestor elemente. Sursa cea mai bogată de **h.** o constituie gazele naturale (gazele de sondă) care sînt compuse, în cea mai mare parte, din metan și azot. Unele zăcăminte de gaze naturale din America de Nord conțin cîteva procente de heliu, provenit tot din dezintegrarea elementelor radioactive. Deși relativ rar pe pămînt, **h.** este, după hidrogen, elementul cel mai abundent din univers.

Obținerea **h.** Pentru obținerea artificială a **h.** există două surse: aerul și gazele naturale. Izolarea din aer se face prin lichefierea acestuia. Fracțiunea nelichefiată conține **h.** și neon, aceste două gaze avînd puncte de lichefiere mai scăzute decît aerul. Neonul se separă de **h.** prin adsorbție pe cărbune activ răcit în aer lichid. Din gazele naturale **h.** se izolează prin același procedeu: la temperatura aerului lichid se adsorb pe cărbunele activ toate componentele, cu excepția **h.** și a hidrogenului (cu cît masa moleculară a gazului este mai mare, cu atît adsorbția sa este mai puternică). **H.** se separă de hidrogen ușor, prin combinarea ultimului cu oxigenul.

Proprietățile fizice ale **h.** **H.** are masa atomică 4,005. La 0°C și presiunea 1,0132 bar (1 atm), densitatea sa este 0,166 *g/l*, iar densitatea relativă față de aer este 0,138. Este cel mai greu de lichefiat dintre toate gazele, avînd punctul de fierbere de 4,2 K. Punctul de topire variază cu presiunea mult mai mult decît pentru celelalte elemente: la 25,63 bar este 1,13 K, la 141,85 bar este 4,21 K, la 7 092,4 bar este 50 K, iar la 101 323 bar se poate obține **h.** lichid la temperatura mediului ambiant (~293 K). La presiunea atmosferică, punctul său de topire este atît de apropiat de 0 K, încît este foarte greu de atins. Căldura de topire este foarte mică, de 0,00383 W/mol. Este relativ solubil în apă, 1 l de apă la 20°C dizolvînd 8,8 cm^3 **h.** Constanta generală a lui este $R=2\,078$ J/kg·K; căldura specifică la presiune constantă $c_p=5\,193$ J/kg·K între 0 și 1 000°C; conductivitatea termică $\lambda=0{,}143$ W/m·K la 0°C, 0,213 la 200° și 0,276 la 400°; viscozitatea dinamică $\eta=18{,}7\cdot10^{-6}$ N·s/m^2 la 0°C, $27\cdot10^{-6}$ la 200° și $34{,}3\cdot10^{-6}$ la 400°.

Dacă se răcește **h.** hichid, se observă o discontinuitate a proprietăților fizice la temperatura de 2,174 K. În timpul răcirii, căldura specifică a **h.** lichid crește continuu pînă la această temperatură, apoi scade. Temperatura la care se produce discontinuitatea este numită punct λ și se notează cu T_λ. **H.** lichid la temperaturi

sub T_λ a fost denumit **h. II**, pentru a-l deosebi de **h.** lichid I, care se află peste această temperatură și ale cărui proprietăți diferă. Tranziția dintre **h.** lichid I și **h.** lichid II este o tranziție de ordinul doi (în cadrul aceleași faze). **H. II** are proprietăți cu totul deosebite, necunoscute la alte lichide, inclusiv la **h. I**, și anume: conductivitatea sa termică este de $3 \cdot 10^6$ ori mai mare decît cea a **h. I** și de ~1 000 ori mai mare decît a cuprului pur; este un lichid suprafluid, cu o viscozitate atît de mică, încît curge practic fără frecare; străbate cu viteză mare capilare foarte fine (cu diametrul de 10 μ) și formează filme foarte subțiri (cu grosimea de ~100 molecule), care urcă rapid pe pereții vaselor ce conțin **h. II**. Formarea **h. II** a fost observată numai la izotopul cu masa 4. Celălalt izotop stabil al **h.**, cu masa 3, se comportă normal pînă la cele mai joase temperaturi obținute.

Nu se cunoaște nici o combinație a **h.** cu alte elemente, deci este complet inert.

Utilizări. **H.**, amestecat cu 15% hidrogen, este folosit la umplerea baloanelor dirijabile. Deși este de două ori mai greu decît hidrogenul, forța ascensională a balonului umplut cu **h.** reprezintă 93% din cea a aceluiași balon umplut cu hidrogen. Se utilizează: la umplerea becurilor electrice și a termometrelor cu gaz; împreună cu 15—21% oxigen, ca gaz de respirat în scufundările submarine autonome la mari adîncimi (pentru a evita accidentele produse de azotul care se dizolvă în sînge); ca atmosferă inertă în metalurgia titanului; ca gaz purtător în cromatografia gaz-lichid; în tehnica temperaturilor foarte joase; în amestec cu neonul, în laserele cu gaz. În tehnica nucleară, se folosește în reactoarele cu sodiu topit, ca strat gazos intermediar între sodiu și apă, precum și ca agent de răcire în reactoarele răcite cu gaze.

HELMHOLTZ, von Herman. Fizician german (1821—1894).

În 1847 a prezentat la Berlin comunicarea „Über der Erhaltung der Kraft" (Asupra conservării forței), în care sînt expuse pentru prima oară în mod clar bazele mecanice ale legii conservării energiei. În această lucrare, **H.** intuiește noțiunea de energie internă, în baza următoarelor raționamente cinetico-moleculare. Întrucît lumea este alcătuită din atomi și aceștia se află în mișcare (în stare de agitație termică), rezultă că ei posedă atît energie cinetică, cît și energie potențială. Suma acestor energii ale atomilor (pe care azi o numim energie internă) care constituie un corp (azi, spunem sistem) se poate mări pe seama căldurii sau a lucrului mecanic schimbat de corp cu exteriorul. În concluzie, **H.** a privit principiul I ca legea generală a conservării energiei, iar pentru sistemele termodinamice i-a dat și semnificația cinetico-moleculară menționată mai sus, care ulterior va fi preluată de Clausius.

În 1882, independent de W. Gibbs, (1878) **H.** face aceeași constatare ca și acesta și introduce noțiunea de energie liberă ($f = u - T.s$), stabilind ecuația care, ulterior, se va numi ecuația Gibbs — Helmholtz.

HENRY (Legea lui). „La temperatură constantă, masa unui gaz dizolvat într-un lichid este proporțională cu presiunea gazului":

$$m = k \cdot p$$

unde: m este masa gazului; p — presiunea gazului; k — factor de proporționalitate dependent de natura lichidului și a gazului, denumit *coeficientul lui Henry*. Pentru un gaz perfect, volumul gazului dizolvat, la presiunea amestecului, este independent de presiune. Legea este valabilă și pentru amestecurile de gaze perfecte, masa unui component din amestec fiind proporțională cu presiunea parțială sau presiunea parțială p_i a lui este proporțională cu concentrația molară $C_{mol,\,i}$ corespunzătoare:

$$p_i = k_i \cdot C_{mol,\,i}$$

Legea este aplicată gazelor perfecte sau celor reale care se găsesc la presiuni mult inferioare celei de saturație (p_s) corespunzătoare temperaturii amestecului. Se recomandă ca limită de valabilitate a aplicării **l. lui H.** la amestecuri de gaze, pentru $p \geqslant (0{,}5—0{,}6)\, p_s$. Pentru presiuni parțiale $p < (0{,}5—0{,}6)\, p_s$, amestecul de gaze se comportă mai curînd ca un amestec lichid-lichid, la care **l. lui H.** se aplică numai la concentrații mici (5—10%). **L. lui H.** nu este aplicabilă, cînd absorbția este însoțită de fenomene complexe (disociație moleculară, asociație moleculară, combinații chimice, procese exo- sau endoterme etc.).

HERON (Cameră de ardere). Cameră de ardere, specifică motoarelor cu ardere internă cu aprindere prin scînteie pentru autovehicule ușoare, realizînd consumuri reduse de combustibil.

Scanned with OKEN Scanner

C. de a. H. presupune o poziție verticală, pe suprafața blocului motor, a supapelor de admisie și evacuare (Fig. H.1). Este realizată printr-o degajare practicată în capul pistonului. Forma camerei de ardere permite obținerea unei turbulențe mărite,

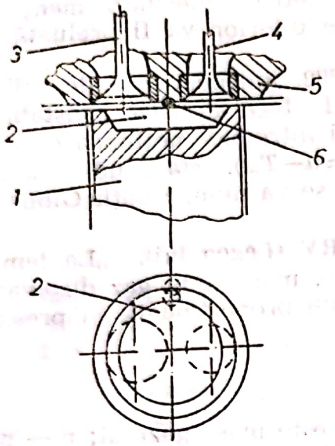


Fig. H.1. Cameră de ardere tip Heron:

1 — piston; *2* — cameră Heron; *3* — supapă de admisie; *4* — supapă de evacuare; *5* — culasă; *6* — orificiu pentru bujie.

a amestecului proaspăt și a unei mișcări radiale a acestuia, ceea ce conduce la mărirea vitezei de ardere. În același timp, este favorizată, din punct de vedere al tehnologiei de fabricație, posibilitatea obținerii unui raport de comprimare ridicat.

HESS (Legea lui). „Într-o reacție chimică desfășurată în mai multe etape, căldura totală de reacție este constantă și egală cu suma căldurilor de reacție ale diferitelor etape". Ca atare, variația energiei interne sau variația entalpiei unei reacții este aceeași, indiferent de etapele reacției. Deci, căldurile de reacție la volum constant sau la presiune constantă sînt egale cu ΔU, respectiv ΔH și depind numai de starea inițială și cea finală a procesului, indiferent de etapele parcurse. **L. lui H.** este o consecință a principiului I al termodinamicii. Conform acestei legi, ecuațiile termodinamice referitoare la reacțiile chimice se pot aduna și scădea ca și cele algebrice. Ea se folosește la calcularea variației entalpiei, la reacțiile în care efectul termic nu poate fi determinat experimental.

HIDRATARE. Fenomen de formare a unor legături slabe între moleculele dizolvatului și solventului, în cazul cînd solventul este apa. Rezultatul **h.** este dizolvarea. În cazul substanțelor neionice, **h.** se datorează formării de legături de hidrogen între dizolvat și apă, iar în cazul celor ionice, atracțiile ion-dipol.

În soluțiile compușilor ionici, ionii de semn contrar rămîn, într-o mare măsură, despărțiți (nu formează perechi sau asociații de ioni), în primul rînd din cauza constantei dielectrice mari a apei. Faptul că unele lichide cu constantă dielectrică mai mare decît cea a apei nu sînt solvenți buni pentru electroliți, demonstrează că acesta nu este singurul factor care determină solubilitatea mare a electroliților în apă. Solubilitatea compușilor ionici în apă este determinată de capacitatea mare a acesteia de a solvata ionii. Fiecare ion se înconjoară de o atmosferă de molecule de apă. Datorită momentului electric (μ=1,84 *D*), moleculele de apă sînt orientate: în cazul anionilor, cu un atom de hidrogen spre ion (polul pozitiv), iar în cazul cationilor, cu oxigenul (polul negativ). Hidratarea ionilor este însoțită de degajarea căldurii de hidratare, de același ordin de mărime cu energiile de rețea.

Un ion se hidratează cu atît mai puternic (numărul de molecule legate și căldura degajată sînt cu atît mai mari), cu cît volumul ionului este mai mic și sarcina electrică mai mare.

Numărul de molecule de apă legate de fiecare ion dizolvat se poate evalua, aproximativ, din experiențe de transport al ionilor în procesele de electroliză. S-au determinat astfel următoarele numere de **h.**:

Ionul	Li^+	Na^+	K^+	NH_4^+	OH_3^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Sr^{2+}	Ba^{2+}	Cl^-	Br^-	I^-
Molecule de H_2O legate	13	8	4	4	3	14	10	8	4	2	2	3

HIDRAULICĂ. Ramură a hidromecanicii, care studiază fenomenele din punctul de vedere al aplicațiilor practice, inginerești. Din cauza dificultăților rezolvării pur teoretice a problemelor curgerii fluidelor, în cadrul hidromecanicii teoretice nu s-a putut da răspuns întotdeauna chestiunilor puse de practică, aceasta ducînd la apariția unei alte ramuri, care studiază mișcarea lichidelor utilizînd în mare măsură rezultatele experimentale, denumită **h.** Dacă, la început, **h.** s-a dezvoltat ca o știință pur empirică, în prezent ea utilizează din ce în ce mai mult metodele hidromecanicii teoretice, după cum și aceasta recurge în măsură mai mare la experiență, astfel încît frontierele dintre hidromecanică (denumită și **h.** teoretică) și **h.** aplicată tind să dispară. La aceasta contribuie și dezvoltarea tehnicii de calcul moderne, care permite renunțarea la unele ipoteze simplificatoare ale calculului și abordarea unor modele de calcul mai complexe.

Metodele folosite în prezent în **h.** pentru studiul curgerii lichidelor se bazează pe modele în care fenomenele studiate sînt simplificate, idealizate și cărora li se aplică legile hidromecanicii teoretice. Rezultatele obținute sînt comparate cu cele experimentale, stabilindu-se corecțiile necesare ale formulelor teoretice pentru a putea fi aplicate în practică. O serie de fenomene care, datorită complexității lor, nu se pretează studiului teoretic sînt studiate de **h.** pur experimental, iar rezultatele sînt date sub forma unor relații empirice.

H. studiază, în principal, curgerile interioare ale lichidelor, dirijate și limitate de pereți solizi, respectiv scurgerile în canale deschise și în conducte sub presiune. De asemenea, studiază sistemele hidraulice locale, la care practic conductele lipsesc și la care curgerea are un caracter spațial neuniform pronunțat, în această categorie fiind cuprinse orificiile, ajutajele, diafragmele, deversoarele. **H.** studiază, în principal, mișcarea lichidelor, în cele mai multe cazuri considerate ca incompresibile. Pot fi considerate și curgeri interioare ale gazelor, cu viteze mult inferioare vitezei sunetului și cu presiuni limitate, cînd se poate neglija compresibilitatea (de exemplu, mișcarea aerului în interiorul sistemelor de ventilație și în alte conducte de gaz).

H. este o știință aplicată, cu caracter tehnic, oferind metode de calcul și studiu ale diverselor instalații (conducte, baraje, canale, deversoare), ale mașinilor hidraulice (pompe, turbine și transmisii hidraulice), precum și ale altor dispozitive hidraulice utilizate în numeroase domenii ale tehnicii.

Cele mai importante capitole ale **h.** aplicate sînt următoarele: calculul conductelor și al rețelelor de conducte, calculul canalelor, curgerea prin orificii și ajutaje și curgerea peste deversoare.

Calculul conductelor (v. Conductă) **și al rețelelor de conducte** (conducte în serie, în paralel, rețele ramificate și inelare), în mișcare permanentă și nepermanentă. Ca aplicație a mișcării nepermanente se studiază fenomenul loviturii de berbec și oscilațiile în castele de echilibru.

Calculul canalelor, respectiv curgerea cu suprafață liberă, în mișcare permanentă sau nepermanentă. Calculul hidraulic al canalelor în cazul mișcării permanente se bazează pe relația semiempirică a lui Chézy:

$$Q = \Omega C \sqrt{R_h J}$$

în care: Q este debitul [m³/s]; Ω — secțiunea [m²]; R_h — raza hidraulică, definită ca raportul dintre secțiunea Ω și perimetrul udat P [m]; J — panta hidraulică (pierderea de sarcină pe unitatea de lungime); C — coeficientul lui Chézy, calculat cel mai frecvent cu formula lui Manning, $C = \frac{1}{n} R_h^{1/6}$ unde n este coeficientul de rugozitate.

Mișcarea neuniformă în canale (albii) deschise studiază formele suprafeței libere a apei (curbe de remuu), în cazul mișcării gradual variate, precum și mișcările brusc variate care apar în unele fenomene, ca de exemplu în saltul hidraulic, fenomen de trecere de la un regim rapid de curgere la un regim lent. Mișcarea nepermanentă în albii deschise are ca aplicație practică propagarea undelor de viitură.

Curgerea prin orificii de ajutaje. Are ca formulă generală de calcul pentru mișcarea permanentă:

$$Q = \mu \Omega \sqrt{2gh},$$

în care: Q este debitul la ieșirea din orificiu sau ajutaj; Ω — secțiunea acestuia; h — sarcina sub care se produce curgerea; μ — coeficientul de debit, rezultat din produsul dintre coeficientul de viteză, exprimînd reducerea vitezei datorită pierderilor de sarcină și cel de contracție a jetului de lichid la ieșire. Coeficientul de debit se determină cu relații semiempiri-

Scanned with OKEN Scanner

ce, variind în raport cu forma și dimensiunile orificiului sau ajutajului.

Curgerea peste deversoare. Debitul deversat depinde de caracteristicile geometrice ale deversorului, precum și de condițiile curgerii (contracție laterală, grad de înecare). Pentru un deversor dreptunghiular neînecat și fără contracție laterală, relația de calcul a debitului este:

$$Q = m\, b \sqrt{2g}\, H^{3/2}$$

în care: Q este debitul deversat: b — lungimea lamei deversante; H — sarcina totală, inclusiv cea cinetică corespunzătoare vitezei de acces; m — coeficientul de debit al deversorului, stabilit experimental, în funcție de tipul deversorului.

O ramură distinctă în cadrul **h.** este **h. subterană,** care studiază curgerea apei în medii poroase (infiltrații), relația fundamentală fiind relația lui Darcy:

$$Q = \Omega\, K \sqrt{J},$$

în care: Q este debitul de apă; Ω — secțiunea totală de curgere (inclusiv cea ocupată de materialul solid); J — panta hidraulică; K — coeficientul de permeabilitate relativă a mediului în raport cu lichidul (conductivitate hidraulică), avînd dimensiunile unei viteze.

HIDROCARBURI. Substanțe organice formate din carbon și hidrogen. Atomii de carbon pot fi legați între ei prin legături simple, duble sau triple, sau pot forma nuclee aromatice.

După modul de legare a atomilor de carbon, se deosebesc următoarele clase de **h:**

— **H. saturate,** cu atomii de carbon legați prin legături simple (σ). Acestea pot avea catene aciclice sau ciclice.

a) **H.** saturate aciclice (numite alcani sau parafine) au formula generală C_nH_{2n+2}. Primii patru termeni ai seriei omologe au denumiri specifice: CH_4 — metan, C_2H_6 — etan, C_3H_8 — propan, C_4H_{10} — butan, iar numele termenilor superiori se formează adăugînd sufixul *an* la numele grecesc al numărului de atomi de carbon din moleculă (exemplu: C_5H_{12} — pentan, C_6H_{14} — hexan etc.). Alcanii cu catena liniară se numesc normali (*n*-butan, *n*-pentan etc.), iar cei cu catena ramificată — izoalcani (*i*-butan, *i*-pentan etc.). Alcani cu număr mic de atomi de carbon se găsesc în gazele naturale (~85% CH_4, ~10% C_2H_6, ~3% C_3H_8), în gazul de iluminat și cocserie (20—30% CH_4, ~50% H_2 și 2—4% **h.** din alte clase), în petrolul brut (de la metan la *n*-hexacontan $C_{60}H_{122}$ și chiar **h.** cu număr mai mare de atomi de carbon), în gudroanele de la distilarea uscată a anumitor cărbuni bruni. Principalele surse de **h.** saturate sînt petrolul și gudroanele de la distilarea cărbunilor. Se pot obține și pe cale sintetică, prin trecerea unui amestec de oxid de carbon și hidrogen peste un catalizator de cobalt sau fier la temperaturi sub 300°C (peste această temperatură se formează numai metan) și presiune normală — procedeul Fischer-Tropsch. Se obțin amestecuri de **h.** gazoase, lichide și solide saturate și cu legătură dublă și alcooli. În prezența catalizatorului de fier se formează **h.** cu legătură dublă în cantitate mai mare. În ambele cazuri se formează, în cea mai mare parte, **h.** liniare. Se mai pot obține prin hidrogenarea unor combinații organice etc.

b) H. saturate ciclice (cicloalcani, cicloparafine sau naftene) au formula generală C_nH_{2n}. Numele se formează, adăugînd particula *ciclo* înaintea numelui alcanului cu același număr de atomi de carbon (exemple: ciclopropan, ciclobutan, ciclopentan etc.). **H.** mono-, bi- și triciclice, cu cicluri de 5 și 6 atomi de carbon și alchilcicloalcani se găsesc în țițeiurile naftenice. Se obțin sintetic prin reacția **h.** aciclice disubstituite la capete: derivați halogenați cu sodiu metalic, distilarea sărurilor de calciu ale acizilor dicarboxilici, condensarea intramoleculară a esterilor dicarboxilici sau condensarea aciloinică, hidrogenarea catalitică a **h.** aromatice, sinteză dien.

— **H. nesaturate cu dublă legătură. H.** aciclice cu o singură legătură dublă (olefine sau alchene) au formula generală C_nH_{2n}, cele cu două legături duble — C_nH_{2n-2}, cele ciclice cu o singură legătură dublă — C_nH_{2n-2}, cele ciclice cu două legături duble — C_nH_{2n-4} etc. Numele celor cu o legătură dublă derivă de la numele alcanilor corespunzători, prin modificarea sufixului „an" în „enă": etenă $CH_2=CH_2$, propenă $CH_2=CH—CH_3$, butenă $CH_2=CH—CH_2—CH_3$, pentenă $CH_2=CH—CH_2—CH_2—CH_3$ etc.). Dacă molecula unei **h.** conține două sau mai multe legături duble, acestea se influențează reciproc, conducînd la proprietăți noi, specifice. Influența este cu atît mai puternică, cu cît legăturile duble sînt mai apropiate în catenă. După poziția celor două duble legături se disting: legături duble cumulate C=C=C, conjugate C=C—C=C și izolate sau dizjuncte (cînd între ele se interpun două sau mai multe legături σ). Cele mai importante pentru industria chimică sînt cele cu legături duble conjugate,

Scanned with OKEN Scanner

numite *diene*, deoarece conduc la reacții specifice ca *sinteza dien* și *polimerizarea*. Mai important este primul termen al seriei omologe — butadiena, precum și derivații săi substituiți. **H.** cu mai multe legături duble conjugate se numesc *poliene*.

Olefinele se obțin industrial prin dehidrogenarea alcanilor sau prin descompunerea termică a acestora și a altor **h.**, procedeu denumit cracare. Butadiena se obține prin dehidrogenarea butenelor, ca materie primă fiind folosită fracțiunea butan-butene din gazele de cracare ale petrolului; este produs de descompunere termică a **h.** la temperaturi superioare temperaturii obișnuite de cracare (750—1 000°C).

— **H. nesaturate cu legătură triplă** (acetilene sau alchine). Numele se formează înlocuind terminația „an" din alcanul corespunzător cu *in:* etină (acetilenă), propină etc. Formula generală este C_nH_{2n-2}. Acetilena CH≡CH, cea mai importantă, se obține industrial prin descompunerea carburii de calciu (carbidului) cu apă, sau prin cracarea metanului la temperaturi peste 1 200°C.

— **H. aromatice** sînt **h.** cu unul sau mai multe inele aromatice, constituite din cicluri plane de șase atomi de carbon. După numărul de inele pe care le conțin, se deosebesc **h.** aromatice mononucleare (benzen, toluen, xilen, alchilbenzeni) și polinucleare. Cele polinucleare pot avea nuclee izolate (difenil, difenil-metan, trifenil-metan, difenil-etenă, difenil-etan, difenil-acetilenă) sau condensate. Condensarea poate avea loc liniar și rezultă acenele (antracen, tetra-, penta-, hexacen etc.), sau angular, conducînd la fene (crisen, picen, pentafen etc.). **H.** aromatice au proprietăți fizice și chimice foarte diferite de ale celorlalte **h.**

Cele mai importante surse de **h.** aromatice mononucleare sînt subprodusele (gudroanele) cocseriilor și ale uzinelor de gaz și petrolul. Se pot obține, de asemenea, prin piroliza hidrocarburilor saturate, alchenelor și a altor combinații la temperaturi peste 800°C. Naftalina, derivații săi și antracenul se separă din gudroanele cărbunilor de pămînt.

HIDRODINAMICĂ. Ramură a mecanicii fluidelor, care studiază mișcarea fluidelor determinată de forțe exterioare, precum și interacțiunea fluidelor în mișcare cu corpurile solide. Pentru studiul matematic al mișcării fluidelor se poate adopta modelul de fluid perfect (ideal, nevîscos), la care se neglijează efectul vîscozității, sau modelul de fluid real (vîscos). În cadrul fiecăruia, se poate considera fluidul incompresibil sau compresibil.

H. fluidului perfect este aplicabilă în numeroase probleme practice, la care, după cum se constată și experimental, în anumite domenii ale mișcării, forțele de vîscozitate sînt neglijabile în raport cu celelalte forțe care determină mișcarea. Studiul matematic în acest caz este mult simplificat, permițînd utilizarea unor metode de calcul exacte sau mai simple. Ecuațiile de mișcare pentru fluidul perfect, cunoscute sub numele de *ecuațiile lui Euler*, în coordonatele carteziene, sînt:

$$\frac{dw_x}{d\tau} \equiv \frac{\partial w_x}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_x}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_x}{\partial z} = f_x - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x};$$

$$\frac{dw_y}{d\tau} \equiv \frac{\partial w_y}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial w_y}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_y}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_y}{\partial z} = f_y - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y};$$

$$\frac{dw_z}{d\tau} \equiv \frac{\partial w_z}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_z}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_z}{\partial z} = f_z = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z},$$

sau vectorial:

$$\frac{d\vec{w}}{d\tau} \equiv \frac{\partial \vec{w}}{\partial \tau} + (\vec{w}\nabla)\vec{w} = \vec{f} - \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p,$$

în care funcțiile necunoscute sînt viteza, $\vec{w} = w_x\vec{i} + w_y\vec{j} + w_z\vec{k}$ și presiunea p a fluidului, variabilele independente fiind coordonatele spațiale (x, y, z), și timpul τ. Se consideră cunoscute: densitatea fluidului ρ și forțele masice exterioare reprezentate de forța unitară (raportată la masă), $\vec{f} = f_x\vec{i} + f_y\vec{j} + f_z\vec{k}$. Prin ∇ s-a desemnat operatorul:

$$\nabla = \vec{i}\frac{\partial}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial}{\partial z}.$$

Pentru rezolvarea problemei matematice se adaugă la ecuațiile diferențiale ale **h.** ecuația de continuitate [v. Continuitate (Ecuația de)]. De asemenea, trebuie precizate condițiile inițiale (pentru mișcarea nepermanentă) și condițiile la limită. Condițiile la limită pot fi de două tipuri: cinematice, pentru viteza la frontierele domeniului de mișcare și dinamice, legate de presiune.

Scanned with OKEN Scanner

De exemplu, la suprafața unui corp solid, din condiția de impermeabilitate și de curgere fără desprindere, componenta normală a vitezei fluidului trebuie să fie egală cu cea a corpului solid după aceeași direcție, în particular zero pentru corpurile fixe; la suprafața liberă a lichidelor se pune condiția ca presiunea să fie egală cu presiunea atmosferică.

Ecuațiile de mișcare ale fluidului perfect se pot scrie și sub forma ecuațiilor *Lamb-Gromeka*, punîndu-se în evidență rotorul vitezei $\vec{\Omega}=\operatorname{rot}\vec{w}=\Omega_x\vec{i}+\Omega_y\vec{j}+\Omega_z\vec{k}$, avînd următoarea exprimare vectorială:

$$\frac{\partial\vec{w}}{\partial\tau}+\operatorname{grad}\left(\frac{w^2}{2}\right)+\vec{\Omega}\times\vec{w}=\vec{f}-\frac{1}{\rho}\operatorname{grad}p,$$

sau scalară:

$$\frac{\partial w_x}{\partial\tau}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{w^2}{2}\right)+\Omega_y w_z-\Omega_z w_y=f_x-\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial x};$$

$$\frac{\partial w_y}{\partial\tau}+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{w^2}{2}\right)+\Omega_z w_x-\Omega_x w_z=f_y-\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial y};$$

$$\frac{\partial w_z}{\partial\tau}+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{w^2}{2}\right)+\Omega_x w_y-\Omega_y w_z=f_z-\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial z}.$$

În ipoteza că forțele masice derivă dintr-un potențial π, adică $f=-\operatorname{grad}\pi$ și că mișcarea este barotropă, adică $\rho=\rho(p)$, deci există funcția de presiune $\mathcal{P}(p)=\int_{p_0}^{p}\frac{dp}{\rho(p)}$, se obțin integrale ale ecuațiilor mișcării fluidelor perfecte, care permit să se determine o legătură directă între viteze și presiune. Un prim caz este pentru mișcarea nepermanentă irotațională ($\vec{\Omega}=0$), la care există un potențial al vitezelor φ, adică $w=\operatorname{grad}\varphi$, rezultînd integrala *Lagrange-Cauchy*:

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\tau}+\frac{w^2}{2}+\pi+\mathcal{P}=C(\tau).$$

Un al doilea caz este pentru mișcarea permanentă la care se obține integrala *Bernoulli*:

$$\frac{w^2}{2}+\pi+\mathcal{P}=C,$$

în care C este constantă în lungul unei linii de curent sau al unei linii de vîrtej, sau este constantă în tot domeniul pentru mișcarea irotațională sau pentru mișcarea elicoidală ($\vec{\Omega}\parallel\vec{w}$). Constanta C poate fi interpretată ca energia specifică a unității de masă a fluidului, ea fiind suma energiei cinetice specifice, a potențialului forțelor masice unitare și a funcției de presiune, care reprezintă energia potențială corespunzătoare acțiunii forțelor de suprafață (presiune). Cazuri particulare pentru integrala Bernoulli se obțin în următoarele ipoteze suplimentare:

— mișcarea fluidului incompresibil ($\rho=\text{const}$, deci $\mathcal{P}=\frac{p}{\rho}+\text{const}$) sub acțiunea forțelor exterioare gravitaționale ($\pi=gz+\text{const}$):

$$\frac{w^2}{2}+\frac{p}{\rho}+gz=\text{const}.$$

sau o formă echivalentă, utilizată în special pentru lichide:

$$\frac{w^2}{2g}+\frac{p}{\rho g}+z=\text{const};$$

— mișcarea izotermică a gazului ideal ($T=\text{const}$, $\frac{p}{\rho}=\text{const}=\frac{p_0}{\rho_0}$), deci $\mathcal{P}=\frac{p_0}{\rho_0}\ln\frac{p}{p_0}$ cu neglijarea forțelor masice exterioare:

$$\frac{w^2}{2}+\frac{p_0}{\rho_0}\ln\frac{p}{p_0}=\text{const}=\frac{w_0^2}{2};$$

— mișcarea adiabatică a gazului ideal $\left\{\frac{p}{\rho^k}+\frac{p_0}{\rho_0^k}\right.$, deci $\mathcal{P}=-\frac{k}{k-1}\cdot\frac{p_0}{\rho_0}\left[1-\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]\Bigg\}$, de asemenea cu neglijarea forțelor masice exterioare:

$$\frac{w^2}{2}-\frac{k}{k-1}\cdot\frac{p_0}{\rho^0}\left[1-\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]=\text{const},$$

unde k este exponentul adiabatic.

Un caz particular de mișcare a fluidelor perfecte incompresibile este *mișcarea*

irotațională ($\vec{\Omega}=0$), la care există un potențial φ al vitezelor ($\vec{w}=\text{grad}\,\varphi$), în acest caz rezolvarea problemelor hidrodinamice simplificîndu-se în mod sensibil. Ecuația pe care trebuie să o satisfacă funcția φ este o ecuație cu derivate parțiale tip Laplace:

$$\Delta\varphi\equiv\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}=0,$$

soluția trebuind să satisfacă de asemenea condițiile la limită date la care, pentru mișcarea nepermanentă, se adaugă și condițiile inițiale. Deoarece ecuația Laplace este liniară, se poate aplica principiul superpoziției soluțiilor.

Pentru *mișcarea irotațională plană* există în plus și o funcție de curent ψ, legată de componentele vitezei prin relațiile:

$$w_x=\frac{\partial\psi}{\partial y},\quad w_y=-\frac{\partial\psi}{\partial x},$$

și care trebuie să satisfacă de asemenea ecuația Laplace:

$$\Delta\psi\equiv\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial y^2}=0.$$

Pentru studiul acestei mișcări se poate utiliza și funcția de variabilă complexă, $z=x+iy$ (potențial complex), definită de relația:

$$f(z)=\varphi(x,y)+i\psi(x,y).$$

H. fluidului real, la care se consideră proprietatea de vîscozitate, cuprinde studiul mișcării laminare, la care nu există amestec între straturile vecine și al mișcării turbulente, mișcare dezordonată cu un amestec intens al particulelor de fluid. În *mișcarea laminară*, efortul tangențial care apare între straturile de fluid, în mișcare unul în raport cu celălalt, poate fi determinat cu formula lui Newton:

$$\tau_v=\nu\rho\frac{\partial w}{\partial n},$$

în care $\frac{\partial w}{\partial n}$ este variația vitezei după normala la suprafață, iar ν este viscozitatea cinematică a fluidului, numindu-se în acest caz fluid newtonian.

Pentru *fluide reale newtoniene, incompresibile, în mișcare izotermă laminară*, ecuațiile care descriu mișcarea sînt ecuațiile Navier-Stokes, care au în coordonate carteziene forma:

$$\frac{\partial w_x}{\partial\tau}+w_x\frac{\partial w_x}{\partial x}+w_y\frac{\partial w_x}{\partial y}+w_z\frac{\partial w_x}{\partial z}=$$

$$=f_x-\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial x}+\nu\left(\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2}\right),$$

$$\frac{\partial w_y}{\partial\tau}+w_x\frac{\partial w_y}{\partial x}+w_y\frac{\partial w_y}{\partial y}+w_z\frac{\partial w_y}{\partial z}=$$

$$=f_y-\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial y}+\nu\left(\frac{\partial^2 w_y}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w_y}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w_y}{\partial z^2}\right),$$

$$\frac{\partial w_z}{\partial\tau}+w_x\frac{\partial w_z}{\partial x}+w_y\frac{\partial w_z}{\partial y}+w_z\frac{\partial w_z}{\partial z}=$$

$$=f_z-\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial z}+\nu\left(\frac{\partial^2 w_z}{\partial x}+\frac{\partial^2 w_z}{\partial y^2}\frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2}\right),$$

sau vectorial:

$$\frac{d\vec{w}}{d\tau}\equiv\frac{\partial\vec{w}}{\partial\tau}+(\vec{w}\nabla)\vec{w}=\vec{f}-\frac{1}{\rho}\,\text{grad}\,p+\nu\Delta\vec{w}.$$

În aceste ecuații se adaugă, de asemenea, ecuația de continuitate, precum și condițiile inițiale și la limită. Se remarcă că, la fluide reale condiția la frontiera suprafețelor solide pentru viteze rezultă atît din condiția de impermeabilitate, care determină componenta normală a vitezei, precum și din condiția de aderență la suprafața solidă, care determină componenta tangențială a vitezei. Astfel, pentru frontierele solide fixe, ambele componente ale vitezei sînt nule.

Nu sînt elaborate metode generale de rezolvare a ecuațiilor neliniare Navier-Stokes, dificultățile fiind datorate și condițiilor la limită pentru viteze. Soluții exacte ale acestor ecuații nu au fost obținute decît pentru cazurile particulare cele mai simple, în care accelerația convectivă $((\vec{w}\nabla)\cdot\vec{w})$ poate fi admisă ca egală cu zero. În acest caz, termenii neliniari dispar și ecuațiile iau forma:

$$\frac{\partial\vec{w}}{\partial\tau}=\vec{f}-\frac{1}{\rho}\cdot\text{grad}\,p+\nu\Delta\vec{w},$$

cunoscută sub denumirea de ecuația Stokes, aplicabilă *mișcărilor lente*.

Metoda, mai importantă din punct de vedere practic, de rezolvare aproximativă a ecuațiilor Navier-Stokes este bazată pe faptul că forțele de vîscozitate se manifestă mai mult în vecinătatea frontierelor

Scanned with OKEN Scanner

solide, în timp ce, la o anumită depărtare de aceste frontiere, ele devin neglijabile. Această remarcă, valabilă pentru viteze mari, stă la baza *teoriei stratului limită*. Astfel, pentru stratul limită laminar plan se obține ecuația Prandtl, avînd forma:

$$w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2},$$

Deși se menține neliniaritatea, ecuația este mai simplă decît ecuația Navier-Stokes și rezolvarea ei este posibilă în numeroase cazuri.

Progresele calculului numeric au permis utilizarea calculatoarelor electronice numerice în rezolvarea ecuațiilor Navier-Stokes prin metode numerice (diferențe finite, elemente finite).

Studiul mișcării fluidelor vîscoase a arătat că regimul laminar se menține pentru numere Reynolds relativ mici, la depășirea unei valori critice mișcarea trecînd în regim turbulent. Astfel, la curgerea în conducte, mișcarea se menține laminară pînă la valoarea $Re_{cr} \cong 2\,300$, unde $Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$, d fiind diametrul conductei.

În *mișcarea turbulentă*, viteza în fiecare punct al domeniului de mișcare are variații continue în timp, ceea ce determină un amestec dezordonat al masei de fluid, particulele de fluid deplasîndu-se după traiectorii foarte complicate, dar în medie mișcarea diferitelor particule se face în direcția de curgere. Această particularitate a mișcării particulelor în regim turbulent implică mari dificultăți în studiul acesteia și obligă să se utilizeze valorile medii ale mărimilor studiate, calculate ca medii temporale într-un punct fix, de exemplu:

$$\overline{w}_x = \frac{1}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} w_x(\tau) d\tau,$$

unde intervalul de timp τ_0 trebuie să fie suficient de mare pentru ca media să nu depindă de timp. În acest fel, fiecare mărime variabilă în timp se scrie ca o sumă dintre media temporală și o pulsație, de exemplu:

$$w_x = \overline{w}_x + w'_x.$$

Datorită componentelor de pulsație ale vitezelor are loc un schimb de impuls între straturi care determină apariția unor eforturi suplimentare tangențiale, astfel încît în mișcarea turbulentă acestea trebuie adăugate la efortul de vîscozitate dat de relația lui Newton.

De exemplu, în mișcarea *turbulentă* plană, în direcția Ox, efortul tangențial este dat de formula lui Prandtl, avînd expresia:

$$\tau_{yx} = \rho \nu \frac{\partial w_x}{\partial y} - \overline{\rho w'_x w'_y}.$$

Ecuațiile de mișcare pentru fluide reale incompresibile în regim turbulent, denumite ecuațiile lui Reynolds, sînt scrise pentru valorile medii temporale ale mărimilor, ecuația pe direcția Ox avînd forma:

$$\frac{\partial \overline{w}_x}{\partial \tau} + \overline{w}_x \frac{\partial \overline{w}_x}{\partial x} + \overline{w}_y \frac{\partial \overline{w}_x}{\partial y} + \overline{w}_z \frac{\partial \overline{w}_x}{\partial z} =$$

$$= f_x - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \overline{p}}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 \overline{w}_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \overline{w}_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \overline{w}_x}{\partial z^2} \right) +$$

$$+ \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x} (-\rho \overline{w'_x w'_x}) + \frac{\partial}{\partial y} (-\rho \overline{w'_y w'_x}) + \right.$$

$$\left. + \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \overline{w'_z w'_x}) \right],$$

iar ecuațiile după celelalte două direcții scriindu-se în mod analog.

Sistemul de ecuații, la care se adaugă ecuația de continuitate, nu poate fi integrat în cazul general, deoarece are 7 necunoscute $\overline{w}_x$, $\overline{w}_y$, $\overline{w}_z$, $\overline{p}$, w'_x, w'_y, w'_z și numai patru ecuații.

De aceea, se folosesc în practică două căi de rezolvare: fie se fac ipoteze simplificatoare în privința dependenței dintre diversele mărimi (teorii semiempirice), fie se stabilesc legi statistice (teorii statistice ale turbulenței).

În stadiul actual, rezolvarea diferitelor probleme ale **H.** necesită și folosirea metodelor de cercetare experimentală.

HIDROFOR. Compensator hidropneumatic al presiunii, constînd dintr-un cazan (rezervor) cu lichid (apă sau ulei) și pernă de aer, utilizat la gospodăria de ulei a regulatoarelor de orice fel, la gospodării de ulei de ungere sau apă de răcire în centralele electrice, la alimentări cu apă etc.

La pompele cu piston poate fi ultilizat atît pe conducta de refulare, cît și pe conducta de aspirație, pentru a înlătura efectele nefavorabile ale regimului hidraulic oscilator și a obține un debit de lichid la presiune cît mai uniformă. În **h.** volu-

Scanned with OKEN Scanner

mul de apă pulsează între anumite limite, comprimînd și destinzînd perna de aer. În h. de refulare (Fig. H.2) presiunea variază între două limite, maximă (p') și minimă (p''). Considerînd cunoscut volumul de apă

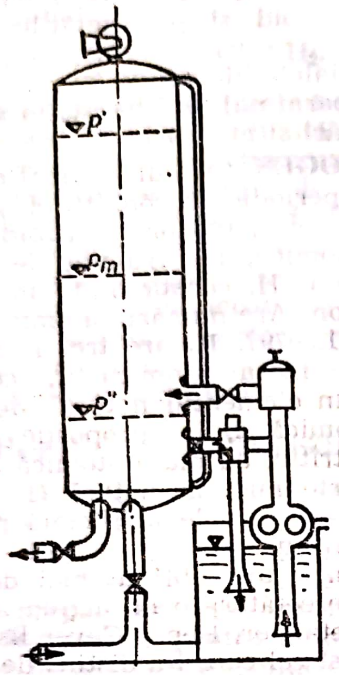


Fig. H.2. Hidrofor.

sau ulei, dat de un ciclu, V_c (de exemplu la pompe cu piston simplu, $V_c = \frac{\pi d_p^2}{4} \cdot s$, unde d_p este diametrul pistonului și s — cursa acestuia) și presiunea medie a pernei de aer, p_m, volumele de aer sînt date de relațiile:

$$V_m = \frac{kV_c}{\left(\frac{p_m}{p_0}\right)^{\frac{1}{n}} - 1}; \quad V' = V_m \left(\frac{p_m}{p'}\right)^{\frac{1}{n}};$$

$$V'' = V_m \left(\frac{p_m}{p''}\right)^{\frac{1}{n}},$$

unde V_m este volumul de aer corespunzător presiunii medii p_m; V' și V'' — volumele de aer extreme care corespund presiunilor maxime, p' și minime, p''; p_0 — presiunea atmosferică; $n=1{,}15$ coeficientul procesului politropic.

Gradul de compensare al debitului variabil depinde de coeficientul $k=5\ldots10$ și de raportul p'/p'' impus.

Pentru pompa cu piston *volumul pulsator* în **h.** de refulare este:

$$V_h = V'' - V' = \alpha \cdot V_c,$$

în care: $\alpha=0{,}55$ pentru pompa cu piston simplă cu simplu efect; $\alpha=0{,}21$ pentru pompa cu piston simplă cu dublu efect și $\alpha=0{,}04$ pentru pompa cu piston dublă cu dublu efect.

Gradul de iregularitate al presiunii în **h.**, $\delta_p = \frac{p'-p''}{p_m}$, este admis mai mic decît 0,05 la refulare și 0,10 la **h.** de aspirație.

În **h.** apar *oscilații hidraulice* în legătură cu conductele respective de refulare sau de aspirație, frecvența acestor oscilații fiind $\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{p_m A_h}{\rho L V_m}}$, în care A_h este aria secțiunii transversale prin **h**, iar L — lungimea conductei legată la **h.**

Raportul dintre această frecvență și frecvența oscilațiilor mecanice ale pompei ($\nu_p = n/60$, unde n este turația în rot/min) nu trebuie să fie 1, 2, 3... la pompa cu piston dublă, deoarece se produc fenomene de rezonanță periculoase. Se recomandă să se păstreze raportul $\nu/\nu_p = 0{,}1\ldots 0{,}3$ la pompe simple și $\nu/\nu_p = 0{,}2\ldots 0{,}6$ la pompe duble.

În sistemele de alimentare cu apă, uneori, este necesar să se ridice apa de la un nivel dat la un nivel superior necesar, prin stații de pompare. Pentru pomparea automatizată, direct în rețea, fără intermediul unui castel de apă, cînd consumul este variabil, se utilizează **instalațiile cu h.** Această soluție se adoptă, de obicei, în cazul unităților mici sau cînd sînt necesare presiuni mari și cînd soluția cu castel de echilibru devine neeconomică, cu probleme dificile din punct de vedere constructiv.

În instalația cu **h.**, între pompe și consumator se interpune **h.** Pompele pornesc și se opresc în funcție de presiunea din **h.**, astfel încît, în permanență, să existe o presiune minimă necesară în instalație. În intervalele de timp în care pompele sînt oprite, presiunea și debitul sînt asigurate de h., prin presiunea pernei de aer de la partea superioară care poate fi obținută prin nivelul apei, precum și cu un mic compresor. Dimensionarea unui **h.** se face astfel, încît numărul de porniri ale pompelor într-o oră să nu fie mai mare de șase.

Numărul de agregate de pompare care refulează într-un **h.** este de minimum două agregate, dintre care unul este de rezervă. Volumul **h.** este cu atît mai mic, cu cît numărul de pompe crește. Ecartul dintre presiunea maximă și cea minimă este de obicei $p'-p''=1{,}5\ldots2{,}5$ bar, la diferențe mai mari rezultînd cazane mai mici. La

Scanned with OKEN Scanner

alegerea tipului de pompă din instalaţiile cu **h.** trebuie respectată condiţia funcţionării în zona cu randamente de cel puţin 50%. Debitul minim al pompei trebuie să fie mai mic decît debitul mediu consumat, iar debitul maxim să depăşească valoarea debitului maxim orar necesar.

Volumul util al rezervorului **h.** se determină cu formula:

$$V_h = T \cdot \frac{Q_{max} + Q_{min}}{8},$$

în care: Q_{max} este debitul maxim al pompei corespunzător presiunii minime admisibile în instalaţie; Q_{min} — debitul minim corespunzător presiunii maxime admisibile în instalaţie; T — intervalul mediu dintre două porniri consecutive ale pompelor.

În afara volumului util al cazanului, ocupat succesiv de apă sau aer şi de volumul minim al pernei de aer din cazan, se prevede un volum suplimentar al cazanului de circa 20% din totalul acestora, pentru ca aerul să nu pătrundă în conducta de refulare.

HIDROFUG (Material). Material care are proprietatea de a nu fi udat de apă. În sistemul lichid—solid—gaz, echilibrul fizic la limita de contact al acestor trei medii se poate prezenta în două moduri, după valoarea unghiului θ_a pe care îl formează suprafaţa lichidului la limita de separaţie dintre cele trei faze. Cînd $\theta_a < 90°$, *sistemul este hidrofil* (Fig. H.3). Cînd $\theta_a > 90°$, *sistemul este hidrofob* (hidrofug) (Fig. H.4).

La materialele hidrofuge, ascensiunea capilară este negativă, adică în loc de absorbţia apei în pori, se constată o respingere a acesteia. Această forţă de respingere poate fi învinsă printr-o presiune mărită a apei, astfel încît orice material hidrofug poate deveni permeabil pentru apă la presiuni mai mari. La uscare, apa se evaporă rapid şi proprietăţile hidrofuge revin.

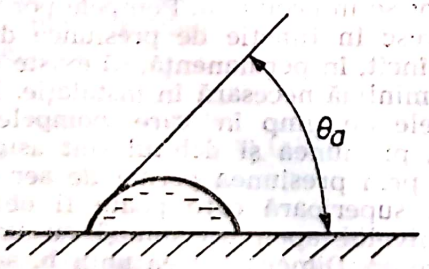


Fig. H.3. Sistem hidrofil.

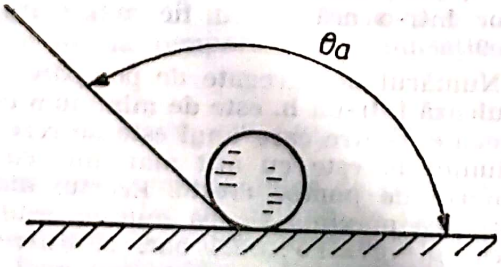


Fig. H.4. Sistem hidrofob.

Materialele hidrofuge (ex.: bitumul, gudronul, parafina) se folosesc, în general, la hidroizolări şi etanşări.

HIDROGEN. Primul element chimic din sistemul periodic. În condiţii obişnuite, este un gaz incolor, inodor şi insipid cu molecula biatomică, H_2. Atomul de hidrogen, cu simbolul H, constă dintr-un proton şi un electron. Are numărul atomic 1 şi masa atomică 1,00797. **H.** are trei izotopi: protium, cu masa atomică 1, constituind 99,98% din elementul natural, deuteriu, cu masa atomică 2, în proporţie de circa 0,02% şi tritiu, cu masa atomică 3, în cantităţi foarte mici în natură (10^{-7}%), dar obţinîndu-se pe cale artificială prin diferite reacţii nucleare.

Deşi **h.** a fost obţinut mai demult de diferiţi cercetători prin acţiunea acizilor asupra metalelor, Henry Cavendish (1731—1810) a fost cel care l-a distins de alte gaze inflamabile.

H. în stare liberă este o componentă minoră a pămîntului. El constituie mai puţin de 1 ppm (parte pe milion) din atmosferă. Se găseşte în gazele unor vulcani, în sondele de petrol şi în minele de cărbuni. Este eliberat ca produs de descompunere a materiei organice şi s-a observat în gazele intestinale ale animalelor. Sub formă de combinaţii constituie 0,76% din greutatea crustei pămîntului, fiind al nouălea element ca abundenţă: 13,5% din atomii crustei pămîntului sînt atomi de hidrogen, numărul acestora fiind depăşit doar de oxigen şi siliciu. Cea mai mare parte din **h.** se găseşte în apă, constituind 10,82% din greutatea sa. Se mai găseşte în cantităţi apreciabile în minerale, sub formă de hidraţi, în hidrocarburile depozitelor petroliere şi în constituenţii organici ai tuturor organismelor vii.

Se crede că **h.** constituie circa 90% din atomii care se găsesc în univers. Sursa cea mai importantă a energiei radiate de soare şi alte stele este energia termonucleară produsă de reacţiile de fuziune a nucleelor de **h.**

Preparare. **H.** poate fi preparat printr-un număr mare de metode, metoda ce urmează a fi aleasă fiind determinată de cantitatea de **h.** necesară, de puritatea dorită şi de disponibilitatea şi costul materiilor prime. Mai frecvent utilizate sînt: reacţia metalelor cu apa sau acizii, elec-

Scanned with OKEN Scanner

troliza apei, reacția vaporilor de apă cu hidrocarburi sau alte substanțe organice și descompunerea termică a hidrocarburilor.

În cantități mici, în laborator, se prepară ușor prin reacția zincului cu acid clorhidric diluat:

$$Zn+2HCl \rightarrow ZnCl_2+H_2. \quad (1)$$

Purificarea se poate face trecînd gazul rezultat printr-o soluție acidulată de permanganat de potasiu sau dicromat de potasiu și apoi printr-o soluție de hidroxid de sodiu. Uscarea se face trecîndu-l peste acid sulfuric concentrat sau silicagel. Metalele mai electropozitive decît hidrogenul reacționează similar cu acizii sau chiar cu apa (metalele alcaline). Astfel, sodiul reacționează violent cu apa, rezultînd hidroxid de sodiu și hidrogen:

$$CaH_2+2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2+2H_2.$$

Reacția poate fi moderată prin amalgamarea sodiului cu mercur.

Reacția fierului cu acid sulfuric diluat se utilizează adesea ca sursă de **h.**

Pentru prepararea unor cantități mari de **h.** (ca de exemplu pentru umplerea baloanelor) o metodă convenabilă este reacția hidrurii de calciu cu apa:

$$CaH_2+2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2+2H_2.$$

Dintr-un kilogram de hidrură de calciu rezultă circa 1 m^3 **h.** Un alt procedeu utilizat adesea pentru obținerea unor cantități moderate de **h.** este dizolvarea aluminiului sau siliciului în alcalii, conform reacției:

$$2Al+2NaOH+6H_2O \rightarrow 2NaAl(OH)_4+3H_2$$

$$Si+4NaOH \rightarrow Na_4SiO_4+2H_2.$$

Industrial, **h.** se obține din hidrocarburi, ca: gazele naturale, gazele de la rafinăriile de petrol, gazolină, petrol combustibil și petrol brut. În reformarea catalitică, care a devenit procedeul predominant de obținere, hidrocarburile volatile reacționează cu vapori de apă în prezența unui catalizator de nichel la 700—1 000°C, formîndu-se oxizi de carbon și **h.** Monoxidul de carbon format, utilizînd, de exemplu, propan ca hidrocarbură:

$$C_3H_8+3H_2O \rightarrow 3CO+7H_2$$

se transformă în dioxid de carbon după reacția:

$$CO+H_2O \rightarrow CO_2+H_2,$$

conversia avînd loc la 350°C pe catalizator de oxid de fer.

Gazul de apă, un amestec de oxid de carbon și **h.**, se obține prin trecerea vaporilor de apă peste cărbune înroșit la temperatura de 1 000°C sau mai mare:

$$C+H_2O \rightarrow CO+H_2.$$

Monoxidul de carbon se transformă în dioxid de carbon și **h.**, ca și în cazul procedeului de mai sus. **H.** poate fi separat de dioxidul de carbon, trecîndu-l printr-o soluție apoasă de monoetilamină.

H. se produce industrial și prin electroliza apei acidulate sau alcalinizate. Se obține ca produs secundar la fabricarea clorului și a hidroxidului de sodiu prin electroliza clorurii de sodiu. Deși procedeul este relativ scump, **h.** obținut este foarte pur (99,9%).

Alt proces industrial important este reacția vaporilor de apă cu fier la 800°C, conform ecuației:

$$Fe+H_2O \rightarrow FeO+H_2,$$

precum și descompunerea termică a amoniacului:

$$2NH_3 \rightarrow N_2+3H_2.$$

Ultima metodă este utilizată pentru obținerea unor cantități relativ mici de **h.** utilizate pentru hidrogenarea catalitică.

Proprietăți fizice. **H.** obișnuit are masa atomică 1,00797 și masa moleculară 2,01594. La 0°C și 1 atm, densitatea sa este 0,08987 g/l, iar greutatea sa specifică comparativ cu aerul este 0,0695, fiind cea mai ușoară substanță cunoscută.

În apă se dizolvă în proporție de 0,0214 volume la 1 volum de apă la temperatura de 0°C, 0,018 volume la 20°C și 0,016 volume la 50°C. În solvenți organici este puțin mai solubil, 1 volum de alcool dizolvînd 0,078 volume hidrogen la 25°C. Multe dintre metale absorb **h.**, în special paladiul, care dizolvă de circa 1 000 ori volumul său de gaz. Adsorbția **h.** în oțel produce „casanța datorată **h.**“, care conduce uneori la cedarea echipamentelor de prelucrare chimică.

Atomul de **h.** are un potențial de ionizare de 13,54 V. Nucleul de **h.** (protonul, cu masa 1) are spinul 1/2 și un moment magnetic de 2,7927 magnetoni nucleari. Secțiunea sa de adsorbție este $0{,}332 \cdot 10^{-24}$ cm^2 pentru neutronii termici.

Molecula de **h.** poate exista în două forme: orto și parahidrogen. Aceste forme distincte sînt posibile, deoarece cei doi atomi se pot combina cu spinii nucleari în aceeași direcție (orto) sau în direcții opuse (para). Acești izomeri de spin sînt suficient de stabili, dar se pot transforma rapid unul în altul cu ajutorul unor catalizatori convenabili, ca azbestul platinat și cărbunele activat. Raportul celor doi

Scanned with OKEN Scanner

izomeri în amestecul de echilibru variază puternic cu temperatura: în apropiere de 0 K, se găseşte aproape în întregime modificaţia para, iar la temperatura camerei, parahidrogenul constituie 25% şi ortohidrogenul 75%. Parahidrogenul pur se obţine uşor, trecînd hidrogen lichid peste cărbune activat. Ortohidrogen pur s-a obţinut numai în cantităţi mici, separîndu-l de parahidrogen prin difuzie termică sau cromatografie de gaze. Proprietăţile fizice ale parahidrogenului şi ortohidrogenului sînt uşor diferite de cele ale **h.** obişnuit:

	H_2 obişnuit	H_2 para	H_2 orto
Punct topire	13,95 K	13,82 K	13,99 K
Punct fierbere (760 mm)	20,39 K	20,26 K	20,45 K

Conductivitatea termică a parahidrogenului este sensibil mai mare decît a formei orto, diferenţa fiind utilizată în analiza amestecurilor celor două forme. Cînd se lichefiază **h.** obişnuit, căldura degajată în timpul conversiei încete a amestecului de echilibru la parahidrogen este responsabilă de evaporarea unor cantităţi mari de hidrogen lichid în timpul stocării. Aceste pierderi pot fi evitate prin transformarea catalitică a ortohidrogenului la parahidrogen în timpul lichefierii. Interconversia orto-parahidrogen poate fi catalizată de atomii de **h.** liberi. Măsurarea vitezei de interconversie permite determinarea concentraţiilor atomilor de **h.** în reacţiile chimice.

Alte proprietăţi ale **h.** sînt rezumate în tabelul H.1.

Tabelul H.1

Proprietăţile hidrogenului

Nr. crt.	Proprietatea	Valoarea
1.	Temperatura de topire	—259,2 °C
2.	Temperatura de fierbere la 1 Atm	—252,8 °C
3.	Densitatea, în stare solidă, la t=—259,2°C	0,0866 g/cm³
4.	Densitatea, în stare lichidă, la t=—252,8°C	0,0708 g/cm³
5.	Temperatura critică	—240 °C
6.	Presiunea critică	13 Atm
7.	Densitatea critică	0,0301 g/cm³
8.	Căldura specifică la presiune constantă	
	gaz, la 25 °C	14,3 kJ/kg·K
	lichid, la —256 °C	8 kJ/kg·K
	solid, la 259,2 °C	2,63 kJ/kg·K
9.	Entalpia de fuziune, la —259,2 °C	16,7 kJ/kg
10.	Entalpia de vaporizare, la —252,8 °C	449 kJ/kg
11.	Conductivitatea termică la 25 °C	0,184 W/m·K
12.	Viscozitatea, la 25 °C	0,00892 cP

Proprietăţi chimice. La temperatura obişnuită, **h.** este o substanţă nereactivă, dacă nu a fost activat într-un mod oarecare, de exemplu cu un catalizator convenabil. La temperaturi ridicate, este însă puternic reactiv.

La temperaturi ridicate, molecula biatomică de **h.** disociază în atomi liberi:

$$H_2 \rightarrow 2H.$$

Căldura de disociere la 25°C este de 104,2 kcal/mol. Procentul de disociere este de 0,08% la 2 000 K, 7,8% la 3 000 K, 62,2% la 4 000 K şi 95,5% la 5 000 K. Se obţine **h.** atomic şi la descărcarea electrică în **h.** la presiune scăzută, sau cînd se iradiază un amestec de **h.** şi vapori de mercur cu lumină cu lungimea de 253,7 nm de la o lampă de mercur.

H. atomic este un agent reducător puternic chiar la temperatura camerei, reacţionînd cu oxizii şi clorurile multor metale, inclusiv argint, cupru, plumb, bismut şi mercur, conducînd la metalele libere. Reduce unele săruri ca: azotaţii, azotiţii şi cianurile de sodiu şi potasiu la starea metalică. Reacţionează cu un număr de elemente, metalice şi nemetalice, dînd hidruri ca: NaH, KH, H_2S şi PH_3. Cu oxigenul, **h.** atomic dă apă oxigenată sau peroxidul de hidrogen H_2O_2. Cu compuşii organici, reacţionează producînd un amestec complex de produşi. Cu etilena, de exemplu, produşii includ etan şi butan. Căldura eliberată cînd se recombină atomii de **h.** pentru a forma molecula de **h.** se utilizează pentru a obţine temperaturi foarte ridicate în sudura cu **h.** atomic.

H. reacţionează cu oxigenul, formînd apa:

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O.$$

Căldura de reacţie este de 57,6 kcal/mol **h.** Această reacţie nu are loc la temperatura camerei, dar se produce în prezenţa unui catalizator ca paladiul, sau a unei scîntei electrice, avînd caracter exploziv. În absenţa catalizatorilor, reacţia dintre **h.** şi oxigen devine măsurabilă la 300°C şi rapidă peste 500°C. Reacţia se crede că are loc radicalic, prin lanţul de reacţii:

$$^{\bullet}OH + H_2 \rightarrow H_2O + H^{\bullet}$$

$$H^{\bullet} + O_2 \rightarrow O^{\bullet} + {}^{\bullet}OH$$

$$O^{\bullet} + H_2 \rightarrow {}^{\bullet}OH + H^{\bullet}.$$

Căldura mare de reacţie este utilizată în flacăra oxihidrogenică pentru tăierea şi sudarea metalelor.

Scanned with OKEN Scanner

H. reacționează mai puțin viguros cu celelalte elemente ale grupei a VI-a: reacția cu sulf este exotermă, dar căldura de reacție este numai de 5 kcal/mol, iar reacțiile cu seleniul și telurul sînt endoterme.

Reactivitatea **h.** față de halogeni scade în ordinea: fluor, clor, brom, iod. Reacția cu fluorul este violentă chiar în întuneric, la —252°C:

$$H_2+F_2 \rightarrow 2HF.$$

Dacă este controlată în mod adecvat, se poate utiliza pentru a produce temperatura extrem de ridicată de 4 000°C. Reacția cu clorul este înceată în condiții obișnuite, dar poate deveni explozivă sub influența luminii sau căldurii:

$$H_2+Cl_2 \rightarrow 2HCl.$$

Ca și în cazul oxigenului, reacția este în lanț:

$$Cl_2 \xrightarrow{h\nu} Cl^\bullet + Cl^\bullet$$

$$Cl^\bullet + H_2 \rightarrow HCl + H^\bullet$$

$$H^\bullet + Cl_2 \rightarrow HCl + Cl^\bullet.$$

Cu azotul, **h.** reacționează dînd amoniac:

$$N_2+3H_2 \rightarrow 2NH_3.$$

H. reacționează la temperaturi ridicate cu un număr de metale ca: litiul, sodiul, potasiul, calciul, stronțiul și bariul, dînd hidruri. Ca exemplu se dă hidrura de litiu:

$$H_2+2Li \rightleftharpoons 2LiH.$$

Oxizii multor metale sînt reduși de **h.** la temperaturi ridicate fie la metale libere, fie la oxizi cu trepte de valență inferioare ale metalului. În acest fel, se pot obține: cuprul, argintul, bismutul, mercurul, wolframul, ferul, nichelul și cobaltul. Similar, clorurile de argint, cupru, nichel și cobalt reacționează cu **h.** la 600—750°C, dînd acid clorhidric și metalele libere. Bromurile și iodurile metalice sînt reduse mai ușor decît clorurile.

H. reacționează la temperatura camerei cu sărurile metalelor mai puțin electropozitive, ca: aur, argint, cupru sau mercur, în soluții apoase și le reduce la starea metalică. Aceste reduceri decurg în mod obișnuit cu viteză foarte mică, dar sînt accelerate dacă **h.** este adsorbit pe platină sau paladiu.

În prezența unui catalizator convenabil, cu platina, paladiul sau nichelul, **h.** reacționează cu compușii organici nesaturați, adiționîndu-se la legătura dublă. Din etilenă se obține etan:

$$H_2C=CH_2+H_2 \rightarrow H_3C-CH_3;$$

aldehidele și cetonele sînt reduse la alcooli (exemplu pentru acetaldehidă):

$$CH_3CH=O+H_2 \rightarrow CH_3CH_2OH.$$

Principalii compuși. **H.** se găsește într-un număr mare de compuși, împreună cu unul sau mai multe elemente. Asemenea compuși sînt: apa, acizii, bazele, cei mai mulți dintre compușii organici și multe minerale.

Compușii în care **h.** se combină cu un singur element se numesc în mod obișnuit hidruri. Acestea pot fi împărțite în trei clase generale: ionice sau asemănătoare sărurilor, covalente sau moleculare și hidruri ale metalelor tranziționale.

Cu halogenii: fluor, clor, brom și iod, **h.** formează hidruri care conțin 1 atom de **h.** la 1 atom de halogen. Acești compuși se numesc hidracizi. Hidracizii sînt gaze la temperatura camerei. Acidul fluorhidric este polimeric $(HF)_x$, iar ceilalți sînt monomerici. Proprietățile lor fizice sînt date în tabelul H.2. Hidracizii se

Tabelul H.2

Proprietățile hidracizilor

Nr. crt.	Proprietatea*	HF	HCl	HBr	HI
1.	Temperatura de topire [°C]	—83,1	—114,8	—86,9	—50,7
2.	Temperatura de fierbere [°C]	19,5	—84,9	—66,8	—35,4
3.	Densitatea lichidului [g/cm³]	0,991	1,194	2,77	2,85
*	la temperatura [°C]	19,5	—86	—67	—47

dizolvă în apă, dînd soluții puternic acide. Acidul fluorhidric se obține, de obicei, din fluorură de calciu și acid sulfuric:

$$CaF_2+H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4+2HF^\bullet$$

Acidul clorhidric se prepară similar, din clorură de sodiu și acid sulfuric. Aproape singura metodă utilizată în prezent pentru fabricarea sa industrială este, însă, arderea **h.** într-o atmosferă de clor, ambele elemente obținîndu-se prin electroliza clorurii de sodiu. Acizii bromhidric și iodhidric se obțin prin combinarea directă.

Scanned with OKEN Scanner

a elementelor, sau prin hidroliza trihalogenurilor de fosfor corespunzătoare, PBr_3 și PI_3.

H. formează doi compuși cu oxigenul: apa H_2O și apa oxigenată H_2O_2. Proprietățile fizice ale acestor substanțe sînt comparate în tabelul H.3. Apa oxigenată se

Tabelul H.3

Proprietățile apei și ale apei oxigenate

Nr. crt.	Proprietatea	H_2O	H_2O_2
1.	Temperatura de topire, în °C	0	—0,9
2.	Temperatura de fierbere, în °C	100	151,9
3.	Densitatea, în g/cm³	1,00 la 4°C	1,465 la 0°C

poate obține prin hidroliza unui peroxid metalic, sau prin reacții de electroliză:

$$Na_2O_2+H_2O \rightarrow H_2O_2+2NaOH.$$

Este instabilă și degajă încet oxigen în timp. Este un agent oxidant puternic și oxidează mulți compuși organici.

Cu sulful, **h.** formează hidrogenul sulfurat, H_2S, un gaz incolor cu miros de ouă clocite. Acesta se poate prepara prin reacția directă a **h.** cu sulful sau prin tratarea unei sulfuri metalice cu un acid. Sînt cunoscute, de asemenea, o serie de polisulfuri ale **h.**: H_2S_2, H_2S_3, H_2S_4, H_2S_5 și H_2S_6. Cu seleniul și telurul **h.** formează **h.** seleniat, H_2Se, respectiv **h.** telurat, H_2Te.

Borul formează o serie de hidruri covalente, mai bine cunoscută fiind diboranul, B_2H_6, în stare gazoasă. Alți membri ai seriei sînt: pentaboranul, B_5H_9, în stare lichidă și decaboranul, $B_{10}H_{14}$, în stare cristalină. Din cauza căldurii de combustie mari, acestor compuși și derivaților lor li s-a acordat o atenție specială ca potențiali combustibili pentru rachete.

Cea mai mare clasă de hidruri covalente o constituie hidrocarburile.

Hidrurile azotului sînt amoniacul NH_3 și hidrazina N_2H_4. Amoniacul este un gaz incolor care se topește la —78°C și fierbe la —33,3°C. Hidrazina este un lichid cu punctul de topire 1,4°C și punctul de fierbere 113,5°C.

Alte hidruri covalente sînt silanul, SiH_4, fosfina (hidrogenul fosforat), PH_3, arsina (hidrogenul arseniat), AsH_3 și stibina, SbH_3 (hidrogenul antimoniat).

Utilizări. Cea mai importantă utilizare a **h.** este în sinteza amoniacului. Se utilizează, de asemenea, din ce în ce mai mult în operațiile de rafinare a petrolului, ca hidrocracarea și tratarea cu **h.** pentru îndepărtarea sulfului. Cantități mari de **h.** sînt consumate în hidrogenarea catalitică a uleiurilor vegetale lichide nesaturate pentru a obține grăsimi solide. Hidrogenarea este utilizată pentru obținerea substanțelor organice, ca alcooli din esteri sau gliceride, amine din nitrili și cicloparafine din hidrocarburi aromatice. Metanolul se obține industrial prin reacția dintre **h.** și monoxid de carbon. Reacția **h.** cu clorul este utilizată pentru obținerea acidului clorhidric.

Mari cantități de **h.** sînt utilizte în programele spațiale atît drept combustibil pentru rachete, împreună cu oxigenul sau fluorul, cît și ca propulsor pentru rachetele nucleare. Aceste utilizări au condus la dezvoltarea rapidă a tehnologiei producerii și manipulării **h.** lichid. **H.** lichid este utilizat în camerele cu bule pentru studierea particulelor de energie înaltă, obținute de la acceleratoarele nucleare. **H.** gazos este utilizat în flacăra oxihidrogenică și în flacăra de **h.** atomic pentru a produce temperaturile ridicate necesare sudării și tăierii metalelor. Este utilizat în industria metalurgică pentru reducerea oxizilor metalici, ca cei de tungsten și molibden, pentru a crea o atmosferă reducătoare în tratarea termică a metalelor și în obținerea hidrurilor metalice. **H.** se utilizează din ce în ce mai mult în obținerea fierului din oxizii săi. S-a utilizat pe scară largă pentru umplerea baloanelor dirijabile, dar a fost înlocuit cu heliu, din cauza faptului că este exploziv în amestec cu aerul. Cînd nu se utilizează direct la locul de preparare, **h.** se transportă și depozitează ca gaz în cilindri de oțel (butelii), la presiunea de 120—150 atm, sau ca lichid în rezervoare mari, bine izolate.

HIDROSTATICĂ. Ramură a mecanicii fluidelor, care studiază echilibrul fluidelor, precum și acțiunea lor asupra suprafețelor solide cu care vin în contact.

Ecuațiile **h.** (Euler) se scriu, în coordonate carteziene, sub forma:

$$f_x-\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial x}=0,$$

$$f_y-\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial y}=0,$$

$$f_z-\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial z}=0,$$

sau sub forma vectorială echivalentă:

$$\vec{f}-\frac{1}{\rho}\operatorname{grad} p=0,$$

în care: $p=p(x, y, z)$ este o funcție scalară pozitivă ($p\geqslant 0$), reprezentînd presiunea; ρ — densitatea constantă în tot domeniul pentru fluide incompresibile și variabilă pentru fluide compresibile, $\rho=\rho(x, y, z)$; $\vec{f}=f_x\vec{i}+f_y\vec{j}+f_z\vec{k}$, cîmpul vectorial al forțelor masice unitare exterioare.

Condiția generală care trebuie satisfăcută de cîmpul exterior de forțe sub acțiunea căruia este posibil echilibrul lichidelor și gazelor este:

$$\vec{f}\cdot\operatorname{rot}\vec{f}=0,$$

adică condiția de existență a suprafețelor normale la cîmpul liniilor de forță. În această categorie, se încadrează forțele avînd un potențial π, adică $\vec{f}=-\operatorname{grad}\pi$. Pentru fluidele barotrope, la care densitatea este funcție numai de presiune, echilibrul poate avea loc numai sub acțiunea forțelor potențiale.

Ecuațiile **h.** se aplică și în cazul echilibrului relativ al fluidelor, la care volumul de fluid se deplasează fără să se deformeze, adică se comportă ca un corp absolut rigid, neavînd loc o mișcare a particulelor una în raport cu alta. În acest caz, se adaugă la forțele exterioare și forțele de inerție, corespunzînd mișcării fluidului (de exemplu, la echilibrul relativ al unui lichid într-un vas în mișcare de rotație uniformă se introduce forța centrifugă).

Pentru modelul de fluid incompresibil ($\rho=\text{const}$), aplicabil lichidelor și gazelor care ocupă domenii cu diferențe de cote relativ mici, sub acțiunea unui cîmp de forțe derivînd dintr-un potențial, ecuația **h.** va fi:

$$p+\rho\pi=\text{const}.$$

În aceste condiții, la echilibrul a două lichide incompresibile imiscibile, de densități diferite, frontiera dintre cele două lichide va fi în același timp o suprafață echipotențială și izobară.

Pentru lichidele aflate într-un cîmp gravitațional, ecuația de echilibru devine:

$$p+\rho gz=\text{const},$$

unde z este axa verticală cu sensul pozitiv în sus.

Suprafețele izobare ($p=\text{const}$) sînt și echipotențiale ($\pi=\text{const}$) și sînt plane orizontale. În acest caz, suprafața liberă a lichidului este un plan orizontal izobar ($p=p_0$), iar presiunea în lichid este dată de relația:

$$p=p_0+\rho gh,$$

unde h este adîncimea punctului considerat.

Acțiunea unui lichid în echilibru asupra unei suprafețe plane, corespunzătoare suprapresiunii $p'=p-p_0=\rho gh$, este dată de o forță, normală la suprafață, cu sensul dinspre lichid spre suprafață, avînd intensitatea:

$$F_p=\rho gh_G A,$$

unde h_G este adîncimea centrului de greutate al suprafeței plane, iar A este aria suprafeței respective. Alegînd un sistem de axe astfel, încît Ox să fie intersecția dintre planul suprafeței considerate cu planul suprafeței libere a lichidului, iar axa Oy normală la Ox și conținută în planul suprafeței respective cu sensul în jos, punctul de aplicație al acestei forțe, denumit centru de presiune, are coordonatele determinate de relațiile $x_p=x_G+\dfrac{I_{x'y'}}{y_G\cdot A}$, $y_P=y_G+\dfrac{I_{x'}}{y_G A}$, în care (x_G, y_G) sînt coordonatele centrului de greutate, iar $I_{x'y'}$, $I_{x'}$, sînt momentele de inerție centrifugal și, respectiv, axial, în raport cu axele Gx, Gy, paralele cu axele Ox, Oy și trecînd prin centrul de greutate.

Se remarcă independența forței de presiune pe peretele unui vas în raport cu forma vasului, rezultat precizat de Pascal ca „paradoxal hidrostatic".

Pentru o suprafață curbă oarecare, acțiunea lichidului în echilibru, corespunzînd presiunii $p'=\rho gh$, se poate determina prin trei forțe, în general neconcurente, avînd direcțiile paralele cu axele unui sistem de coordonate (x, y, h), astfel încît planul Oxy coincide cu planul suprafeței libere a lichidului, iar coordonata **h.** reprezintă adîncimea în lichid. Intensitățile acestor forțe sînt date de relațiile:

$$F_{px}=\rho gh_{Gx}A_x,\ F_{py}=\rho gh_{Gy}A_y,\ F_{ph}=\rho gV_z,$$

în care: A_x, A_y reprezintă aria proiecției suprafeței curbe pe planul Oyh, respectiv Oxh; h_{Gx} și h_{Gy} — adîncimile centrelor de greutate ale acestor proiecții; V_z — volumul cuprins între suprafața curbă și proiecția ei pe planul Oxy. Aceste forțe acționează dinspre lichid spre suprafață, cu suportul lor trecînd, pentru F_{px} și F_{py}, prin centrele de presiune ale proiecțiilor A_x, respectiv A_y, iar pentru F_{pz}, prin centrul de greutate al volumului V_z

Scanned with OKEN Scanner

În cazul particular al suprafețelor curbe închise, rezultă că $F_{px}=F_{py}=0$, iar $F_{ph}=-\rho g V_c$, unde V_c este volumul mărginit de suprafața curbă închisă (volumul corpului determinat de această suprafață), semnul minus indicînd sensul forței în sus (rezultat cunoscut ca legea lui Arhimede: asupra unui corp cufundat, parțial sau total, într-un lichid în echilibru, acționează o forță ascensională egală cu greutatea volumului de lichid dezlocuit de corp).

Pentru modelul de fluid barotrop ($\rho=\rho(p)$), ecuația de echilibru se scrie sub forma:

$$\mathcal{P}+\pi=\text{const},$$

în care $\mathcal{P}(p)=\int_{p_0}^{p}\frac{dp}{\rho(p)}$ este numită funcție de presiune. Ca aplicație, se consideră echilibrul atmosferei sub acțiunea forțelor de greutate, pentru care $\pi=g(z-z_0)$, funcția de presiune obținîndu-se în ipoteza procesului izotermic, $\rho=\frac{\rho_0}{p_0}p$, de forma $\mathcal{P}=\frac{p_0}{\rho_0}\ln\frac{p}{p_0}$, astfel încît ecuația de echilibru (formula barometrică) rezultă:

$$g(z-z_0)+\frac{p_0}{\rho_0}\ln\frac{p}{p_0}=0$$

în care p_0 și ρ_0 sînt valorile de referință la cota z_0.

HIGROMETRU (Sin.: **Umidometru**). Instrument utilizat pentru măsurarea umidității gazelor.

După principiul de funcționare, se deosebesc mai multe tipuri de **h.**: cu absorbție, cu fir de păr și cu condensație.

H. cu absorbție măsoară umiditatea ce este reținută de o substanță absorbantă (acid sulfuric, anhidrică, fosforică, clorură de calciu). Instrumentul se compune dintr-un recipient cu substanța absorbantă, montat în serie cu un contor de gaz și un ventilator pentru aspirarea gazului. Umiditatea se măsoară prin cîntărirea recipientului înainte și după trecerea gazului. Cunoscînd cantitatea de gaz ce trece prin aparat, temperatura și presiunea gazului, se poate determina umiditatea relativă și absolută a gazului.

H. cu fir de păr. Principiul de funcționare se bazează pe proprietatea firului de păr (omenesc) de a-și modifica lungimea în funcție de umiditatea mediului. Instrumentul se compune (Fig. H.5) dintr-un suport pe care este fixat un fir de păr. Acesta este înfășurat, apoi, pe un tambur cu ax orizontal și are fixată de cealaltă extremitate o greutate ce ține firul întins.

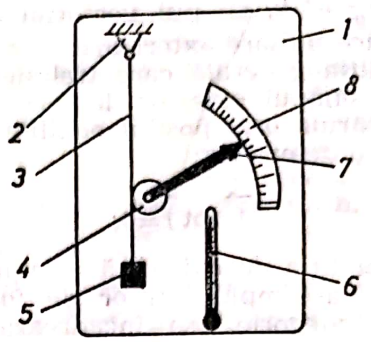


Fig. H.5. Higrometru cu fir de păr:
1 — suport; *2* — punct fix; *3* — fir de păr; *4* — tambur; *5* — greutate calibrată; *6* — termometru; *7* — ac indicator; *8* — cadran gradat.

Acul indicator este fixat pe tambur și poate oscila în dreptul unui cadran gradat. Cînd umiditatea gazului crește, firul de păr se alungește și determină rotirea tamburului pe care este înfășurat. Rotirea tamburului implică deplasarea acului indicator cu un anumit unghi, evidențiat pe scala gradată în procente de umiditate relativă.

H. cu condensație funcționează pe baza condensării vaporilor conținuți într-un gaz, cînd acesta devine saturat. Aparatul se compune (Fig. H.6) dintr-un răcitor

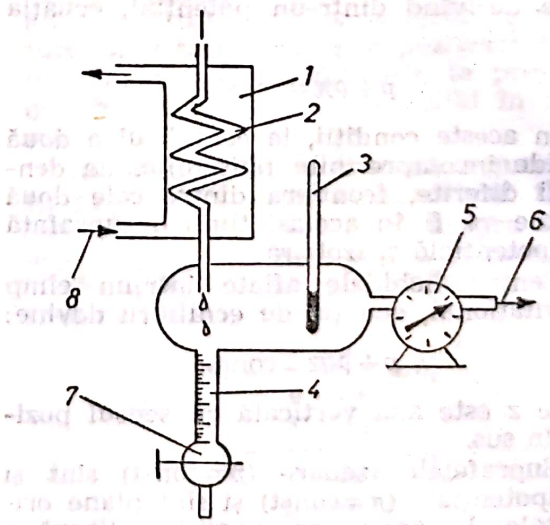


Fig. H.6. Higrometru cu condensație:
1 — răcitor; *2* — serpentină de gaz; *3* — termometru pentru gazul saturat; *4* — tub gradat; *5* — contor de gaz; *6* — evacuarea gazului; *7* — robinet de golire; *8* — apă de răcire.

prin a cărui serpentină intră gazul. Prin răcire, temperatura scade sub punctul de rouă pentru a se produce condensarea unei părți din vapori. Gazul saturat este evacuat la o temperatură care poate fi măsurată, condensul fiind colectat într-un tub gradat. Raportul dintre cantitatea de condens, plus cantitatea de vapori saturați conținută în gazul ce trece prin contor într-un timp determinat și volumul gazului care trece prin aparat în același interval de timp, este egal cu umiditatea absolută a gazului.

HIGROSCOPICITATE. Proprietate a unor corpuri (substanțe, materiale) de a absorbi umiditatea din atmosferă sau din spații închise.

HUILĂ. Cărbune humic, rezultat prin fenomenul de carbonificare, din vegetația unor mari păduri și, într-o mai mică măsură, din plante acvatice (alge) și din microorganisme.

Zăcămintele de **h.** se găsesc, în cea mai mare parte, în formațiunile geologice paleozoice (în Carbonifer) și, într-o proporție mai mică, în formațiunile Mezozoicului inferior și ale Cretacicului inferior. **H.** sînt răspîndite pe tot globul, cele mai importante zăcăminte fiind concentrate în emisfera nordică. În țara noastră, **h.** se găsesc în Valea Jiului, unde cărbunele variază de la cărbune brun huilos la **h.** cu flacără lungă și la **h.** de gaz și, în special, în Banat (la Anina), unde se găsesc: **h.** grasă, **h.** de cocs, **h.** slabă degresantă și **h.** antracitoasă.

H. este un cărbune fosil, compact, uneori șistos pînă la fibros, de culoare neagră sau neagră-cenușie (foarte rar brună-închis), cu luciu sticlos, gras, cu urmă neagră și cu spărtură concoidală sau neregulată (colțuroasă). **H.** este, în general, sfărîmicioasă, are duritatea 1,5—2,5 și densitatea relativă 1,2—1,5. Nu reacționează cu hidroxizii alcalini și are reacția acizilor humici negativă (indiciu pentru un cărbune fosil humic cu un grad de carbonificare superior cărbunilor bruni). Compoziția chimică elementară a **h.** este: C=75 ... 94%, H=3,5 ... 5,5%, S=1 ... 4%, O+N=1,5 ... 20%, restul apă (higroscopică și de zăcămînt). Pe suprafețele lustruite se deosebesc relativ ușor componenții de bază: vitritul, cloritul, duritul și fuzitul, precum și șistul combustibil; proporțiile relative ale acestor constituenți depind de materialul genetic vegetal și de condițiile de carbonificare. În general, se consideră **h.** toți cărbunii care au o putere calorifică superioară de minimum 24 000 kJ/kg (calculată la substanță uscată în aer) și fără cenușă.

Datorită proprietăților fizico-chimice și capacității de cocsificare foarte diferite, **h.** se clasifică în 61 de tipuri (STAS 6477-61). Împărțirea se face în clase (în funcție de conținutul de substanțe volatile și de puterea calorifică), în grupe (în funcție de puterea de aglutinare) și în subgrupe (după capacitatea de cocsificare).

Din punct de vedere industrial, **h.** sînt cei mai importanți cărbuni, constituind baza de materii prime pentru fabricarea cocsului metalurgic și pentru numeroase produse chimice din industria de sinteză organică.

Principalele clase de **h.** sînt:

— **H. antracitoasă (H/A)** (Sin.: **H. slabă).** Este cea mai veche **h.**, ultima pe treapta de formare a **h.**, înainte de antracit. Se aprinde greu, arde cu flacără scurtă, fără fum și fără să se umfle în timpul arderii. Conține: 4—10% materii volatile, 88—94% C, 3,5—4% H, 1,2—9% O+N și sub 4% apă. Are o putere calorifică superioară, de ordinul 33 900—36 850 kJ/kg. Nu are proprietăți de cocsificare, reziduul de la cocsificare fiind pulverulent, sfărîmicios. Se întrebuințează drept combustibil special la fabricarea brichetelor.

— **H. cu flacără lungă (HL)** (Sin.: **H. flambantă).** Este cea mai tînără **h.**, pe scara de formare a **h.**, avînd compoziția chimică elementară: C=75 ... 80%, H=4,5 ... ... 5,5%, O+N=14,5 ... 21%. Arde cu flacără lungă, galbenă, luminoasă și produce fum mult, datorită procentului mare de materii volatile pe care-l conține (41—50%). Are puterea calorifică superioară de 27 200—32 650 kJ/kg. Nu are capacitatea de aglutinare sau aglutinează foarte slab. Se utilizează în focarele industriale, în generatoarele de gaz, la locomotivele cu abur, drept combustibil casnic, iar în ultimul timp, în amestec, la alcătuirea șarjelor de cocsificare.

— **H. cu flacără scurtă (HFS).** Este denumirea generală dată **h.** cu procent mai mic de materii volatile (19—30%), de exemplu: **h.** de cocs, **h.** slab degresantă, **h.** antracitoasă.

— **H. de cocs (HC).** Este **h.** tipică pentru fabricarea cocsului, cu compoziția chimică elementară aproximativă: C=81 ... ... 90%, H=4 ... 5%, O+N=6 ... 15%. Are culoare neagră, luciu puternic, fiind în general sfărîmicioasă și prăfoasă. Are un conținut mediu de materii volatile de 19—30% și o putere calorifică superioară de 30 500—36 850 kJ/kg. Arde cu flacără scurtă, fără fum și degajă multă căldură. **H.** de cocs are o capacitate optimă de aglutinare; la cocsificare se obține un cocs topit, dur, rezistent, compact, folosit în metalurgie.

Scanned with OKEN Scanner

— **H. de gaz (HG).** Este o **h.** tînără, cu compoziţia chimică elementară: C=75 ... ... 85%, H=4,5 ... 5,5%, O+N=10 ... 21%. Conţine un procent mare de materii volatile (35—45%), din care cauză dă o producţie mare de gaz şi gudron. Se deosebeşte, ca aspect macroscopic, de **h.** cu flacără lungă, prin stratificaţia mai puţin clară şi prin luciul mai accentuat. Arde cu flacără lungă sau scurtă, fără fum şi degajă o putere calorifică superioară de 28 000—35 000 kJ/kg. **H.** de gaz se caracterizează printr-o mare capacitate de aglutinare; dă un cocs umflat pînă la spongios. Se întrebuinţează la producerea gazului de iluminat, la semicarbonizare şi în amestecurile de şarjă pentru fabricarea cocsului.

— **H. grasă (HGr).** Are un grad de metamorfozare superior, cu compoziţia chimică elementară: C=78 ... 88%, H=4,4 ... ... 5,5%, O+N=6,5 ... 18%, cu un procent de materii volatile de 25—38% şi cu putere calorifică superioară de 29 300—36 400 kJ/kg. Are capacitate de aglutinare mare, dă un cocs bun, topit, umflat, întrebuinţat în siderurgie.

— **H. slabă degresantă (HS)** (Sin.: **H. semigrasă).** Are un conţinut relativ mic de materii volatile (10—19%), arde cu flacără scurtă şi cu puţin fum; în general, este sfărîmicioasă pînă la prăfoasă. Compoziţia chimică elementară se caracterizează printr-un conţinut bogat în carbon (86—92%) şi sărac în hidrogen (3,5—4,5%), oxigen şi azot (O+N=3,2 ... 11%). Puterea calorifică superioară este de aproximativ 32 200—37 250 kJ/kg. La cocsificare dă un cocs acceptabil, de la aglomerat pînă la praf şi se întrebuinţează la alcătuirea şarjelor de cocsificare, ca degresant.

În tabelul H.4 sînt date caracteristicile unor sorturi de **h.** din R.S.R. Semnificaţia notaţiilor este următoarea: W_t — conţinutul de umiditate; A — conţinutul de balast; V_{mc} — conţinutul de masă combustibilă; Q_i — puterea calorifică inferioară; K_i — criteriul de intensitate a arderii; K_a — criteriul de aprindere; m_v — coeficient de măcinabilitate după metoda morii ventilator; t_A, t_B, t_C — temperatura de înmuiere, topire, respectiv curgere.

Tabelul H.4

Caracteristicile energetice ale cîtorva sorturi de huilă

Extracţia minieră	Simbol	Caracteristici tehnice				Caracteristici energetice					
		W_t [%]	A [%]	V_{mc} [%]	Q_i [kJ/kg]	K_i —	K_a —	m_v —	t_A [°C]	t_B [°C]	t_C [°C]
Ponor	HC	4,18	16,40	32,00	19 800	0,30	0,59	2,24	1 600	1 680	1 690
Anina	HC	3,37	12,70	30,48	22 780	0,36	0,86	2,79	1 440	1 535	1 560
Petrila	HL	7,24	24,40	48,70	20 200	0,69	1,38	1,62	1 290	1 305	1 340
Lonea	HL	9,68	29,60	50,00	17 040	0,97	1,64	2,00	1 410	1 505	1 545
Lupeni	HG	8,22	24,20	46,50	20 740	0,67	1,29	1,86	1 335	1 350	1 380
Vulcan	HG	9,33	12,05	43,20	20 720	0,27	0,97	1,86	1 320	1 335	1 365
Uricani	HG	6,45	34,22	49,20	21 220	1,13	1,63	1,91	1 340	1 385	1 430

Scanned with OKEN Scanner

I

IGNIFUGARE. Acoperire sau impregnare a unui material combustibil (textil sau lemnos) cu o substanță ignifugă care îi conferă calitatea de neinflamabil.

I. superficială a materialelor lemnoase se poate realiza prin acoperire cu substanța ignifugă prin pensulare sau stropire.

I. în profunzime se poate realiza prin diferite procedee ca: imersia obiectului în băi conținînd soluție ignifugă încălzită la 70—80°C; impregnare dublă, cu două substanțe care reacționînd chimic între ele creează un strat insolubil (nelavabil) ignifug; vidarea materialului, extragerea aerului din porii materialului în vid, urmată de impregnarea sub presiune; **i.** prin înlocuirea sevei lemnului încă verde cu material ignifug.

Gradul de **i.** este definit ca timpul cît obiectul ignifugat rezistă la aprindere, la o anumită temperatură.

Eficiența **i.** se poate proba în laborator prin mai multe procedee: încercarea la inflamabilitate, care constă în determinarea timpului de aprindere a probei la o anumită temperatură; determinarea vitezei de propagare a flăcării în materialul ignifugat, prin măsurarea la anumite intervale de timp a înălțimii zonei cuprinse de flacără a probei și a timpului de stingere, după înlăturarea sursei de foc; determinarea vitezei de ardere, prin măsurarea pierderii în greutate a probei și a temperaturii dezvoltate în timpul arderii.

IMPLOZIE. Fenomen opus exploziei, constînd în distrugerea pereților unei incinte sub acțiunea suprapresiunii gazelor din exteriorul ei.

Poate fi la fel de periculoasă prin gravitatea consecințelor ca și explozia și necesită măsuri de protecție corespunzătoare.

Se poate produce, de exemplu: la tuburile electronice în interiorul cărora s-a făcut vid, în cazul fisurării pereților acestora datorită unui șoc mecanic, termic sau tensiunilor remanente, de turnare; la combustibilii solizi explozivi, care absorb cantitatea de aer necesar arderii în timp foarte scurt etc.

IMPULS. (Sin.: **Cantitate de mișcare**). *Pentru un punct material*, impulsul H este produsul dintre masa m a acestuia și vectorul viteză $\vec{w}$,

$$\vec{H}=m\vec{w}.$$

Teorema **i.** (ecuația cantității de mișcare) pentru punctul material se scrie sub forma:

$$\frac{d\vec{H}}{dt}=\vec{F},$$

adică derivata **i.** unui punct material în raport cu timpul este egală cu forța F rezultantă aplicată acestui punct.

Pentru un sistem de n puncte materiale, de mase m_i și viteze $\vec{w}_i$, $i=1, 2, \ldots, n$, **i.** total al sistemului este definit de:

$$\vec{H}=\sum_{i=1}^{n} m_i\vec{w}_i=m\cdot\vec{w}^*,$$

unde $m=\sum_{i=1}^{n} m_i$ este masa întregului sistem, iar $\vec{w}^*$ este viteza centrului de masă al sistemului de n puncte materiale.

Teorema i. pentru acest sistem de n puncte materiale se va scrie sub forma:

$$\frac{d\vec{H}}{dt} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i^{(e)},$$

adică derivata i. total în raport cu timpul este egală cu vectorul rezultant al forțelor exterioare care acționează asupra sistemului (forțele interne de interacțiune între punctele sistemului se anulează prin însumare).

Pentru un mediu continuu, respectiv pentru un fluid, care ocupă un volum oarecare, V, limitat de suprafața curbă închisă S, impulsul se definește prin relația:

$$\vec{H} = \int_v \rho \vec{w} dV,$$

iar teorema i. se pot scrie sub forma:

$$\frac{d}{dt}\int_v \rho\vec{w}dV = \int_v \vec{f}\rho dV + \oint_S \vec{p}dS,$$

în membrul drept fiind exprimate rezultantele forțelor masice exterioare și de suprafață acționînd asupra domeniului V al mediului, unde $\vec{f}$ reprezintă cîmpul vectorial al forțelor masice exterioare unitare, iar $\vec{p}$, efortul de suprafață, avînd în general o componentă normală (presiunea) și una tangențială (efortul de vîscozitate și turbulență).

Pentru mișcarea permanentă a unui fluid, teorema i. se poate scrie sub forma:

$$\oint_S \rho\vec{w}(\vec{w}\cdot\vec{n})dS = \Sigma\vec{F}_e,$$

în care $\vec{n}$ reprezintă versorul normalei exterioare la suprafața S, iar ΣF_e — suma forțelor exterioare exercitate asupra fluidului din V. Avantajul practic al acestei formulări pentru teorema i. este dat de înlocuirea integralei de volum cu o integrală de suprafață, astfel încît nu este necesar să se cunoască structura exactă a mișcării în interiorul domeniului V, ci numai caracteristicile ei pe suprafața S, care delimitează acest domeniu. Termenul din membrul drept, $\Sigma\vec{F}_e$, conține în general greutatea fluidului, ca forță masică exterioară și forțele de presiune pe suprafața S, forțele tangențiale fiind în multe aplicații practice neglijate. Membrul stîng se explicitează în mod practic sub forma:

$$\oint_S \rho\vec{w}(\vec{w}\vec{n})dS = \int_{S_2} \rho\vec{w}w_n dS - \int_{S_1} \rho\vec{w}w_n dS,$$

unde S_1 este porțiunea din suprafața S prin care fluidul intră în domeniu ($\vec{w}\cdot\vec{n} = -w_n$), iar S_2 — porțiunea din suprafața S prin care fluidul iese din domeniu ($\vec{w}\cdot\vec{n} = w_n$), în care w_n este componenta normală la suprafață a vitezei, în valoare absolută.

În *mișcarea permanentă într-un tub de curent*, suprafețele de intrare S_1 și, respectiv, de ieșire S_2 se consideră secțiuni normale la tub, astfel încît teorema se poate scrie sub forma

$$\rho Q(\beta_2\vec{W}_{m,2} - \beta_1\vec{W}_{m,1}) = \Sigma\vec{F}_e,$$

în care $\vec{w}_m$ sînt vitezele medii pe aceste secțiuni, Q — debitul volumic prin tubul de curent, iar $\beta = \frac{1}{S}\int_S (w/w_m)^2 \, dS$ este coeficientul cantității de mișcare (Boussinesq), care în cazurile uzuale se ia $\beta = 1$.

În cazul mișcărilor nepermanente, teorema i. se scrie sub forma:

$$\int_V \frac{d(\rho\vec{w})}{dt} dV + \oint_S \rho\vec{w}(\vec{w}\cdot\vec{n})dS = \Sigma\vec{F}_e.$$

INCOMPRESIBILITATE. Calitate a unui corp lichid sau a unui solid de a nu-și micșora volumul prin mărirea presiunii exterioare. În practică, se constată că nu există corpuri perfect incompresibile, dar, de regulă, într-o primă aproximație, se pot considera incompresibile corpurile care prezintă o compresibilitate foarte mică (lichidele și solidele).

INDICATOR DE NIVEL. Aparat care indică local sau la distanță nivelul de lichid al unui rîu, al unui lac sau dintr-un recipient. Pentru rîuri și lacuri, aparatul constă de obicei dintr-un stîlp sau dintr-o riglă fixă gradată (Fig. I.1), pentru recipiente deschise se pot folosi mijloace si-

Scanned with OKEN Scanner

milare sau alte sisteme, ca: tije de nivel (carter motoare, Fig. I.2); robineţi de control (cazane de abur, Fig. I.3); sticle de nivel tubulare, Klinger (Fig. I.4); indicator mecanic local (Fig. I.5); indicator cu plutitor (Fig. I.6); indicator electric la distanţă (Fig. I.7).

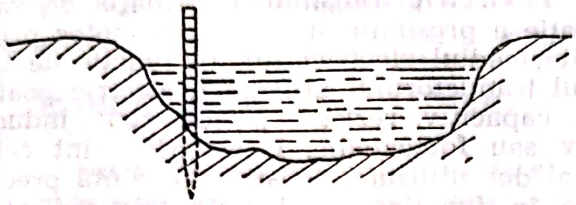


Fig. I.1. Riglă gradată.

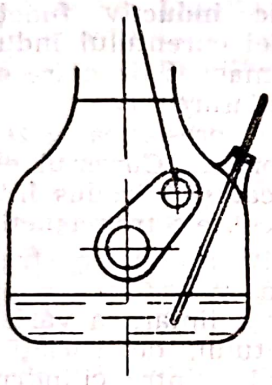


Fig. I.2. Tijă de nivel pentru cartere de motoare.

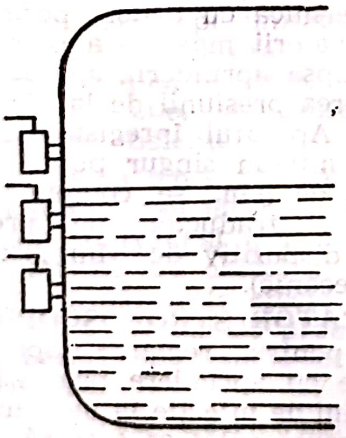


Fig. I.3. Robinet de control.

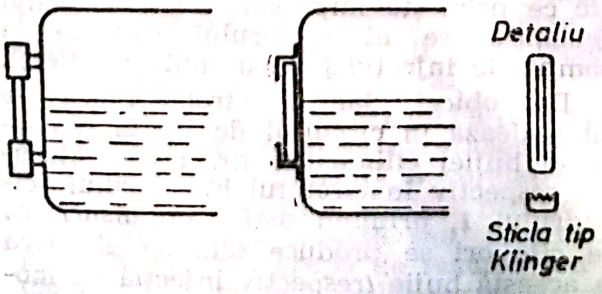


Fig. I.4. Sticlă de nivel.

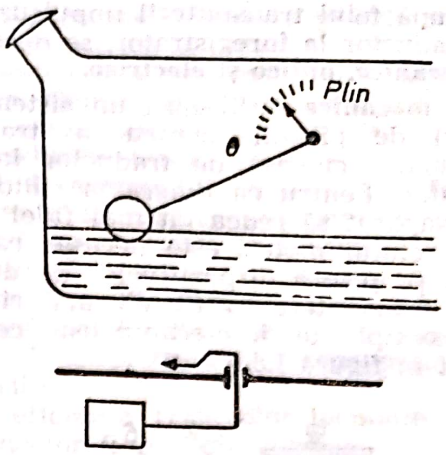


Fig. I.5. Indicator mecanic local.

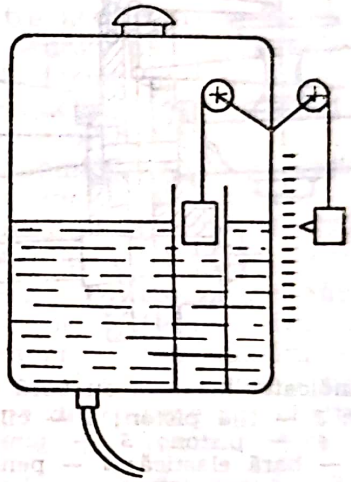


Fig. I.6. Indicator cu plutitor.

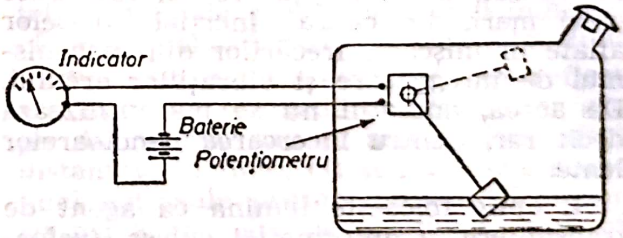


Fig. I.7. Indicator electric cu citire la distanţă.

INDICATOR DE PRESIUNE A GAZELOR DIN MOTOARE. Aparat care permite obţinerea totală sau parţială a diagramei indicate a ciclului motor. Constructiv, aparatul este compus dintr-un traductor ce sesizează presiunea gazelor din cilindrul motorului, un înregistrator al variaţiilor de presiune, un sistem de legătură între traductor şi înregistrator şi un dispozitiv ce realizează abscisele proporţionale cu timpul, unghiul de rotaţie al arborelui cotit sau deplasarea pistonului motor.

Scanned with OKEN Scanner

După felul transmiterii impulsurilor de la traductor la înregistrator, se deosebesc: **i. mecanice, optice și electrice.**

I. mecanice utilizează un sistem (mecanic) de pîrghii pentru a transmite informația culeasă de traductor la înregistrator. Pentru ca diagrama ridicată cu acest aparat să redea cît mai fidel procesele ciclului motor, este necesar ca frecvența proprie a dispozitivelor de detectare și transmitere să fie cît mai ridicată. Un exemplu de **i.** mecanic este cel prezentat în figura I.8.

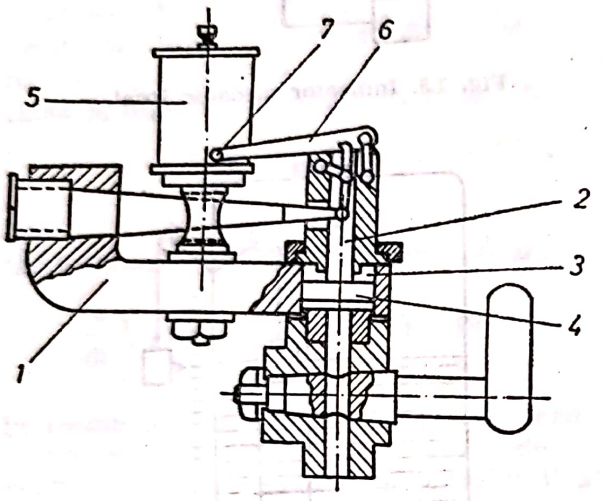


Fig. I.8. Indicator mecanic cu bară elastică: *1* — suport; *2* — tijă piston; *3* — cilindrul indicatorului; *4* — piston; *5* — tambur înregistrator; *6* — bară elastică; *7* — peniță de înregistrare.

La peste 800—1 000 rot/min, acest tip de aparat, de concepție veche, introduce erori mari, din cauza inerției pieselor aflate în mișcare, frecărilor din mecanismul de înregistrare și vibrațiilor arcului. De aceea, aparatul nu se mai utilizează decît rar, pentru încercarea motoarelor lente.

I. optic folosește lumina ca agent de transmitere a informației culese (valoarea variației de presiune), deci prezintă avantajul lipsei de inerție și al eliminării frecărilor la aparatul înregistrator. Principiul de funcționare al aparatului este următorul: o sursă luminoasă este focalizată asupra unei oglinzi ce se deplasează proporțional cu presiunea din cilindru și cu deplasarea pistonului. Deplasarea spotului luminos este vizualizată pe o placă (ecran) de sticlă sau pe un film fotografic. Presiunea sensibilizează un pistonaș sau o membrană care are frecvențe proprii mai ridicate. Membranele plane au o caracteristică neliniară, deformația variind liniar cu presiunea aplicată la membranele ondulate. Aparatul prezintă dezavantajul unei sensibilități ridicate (caracteristica membranei nu este liniară și este influențată de temperatură, iar histerezisul membranei apare la o variație rapidă a efortului aplicat), al unui volum rotativ mare și al dificultății amplasării pe motor. Domeniul de turații de utilizare se extinde pînă la aprox. 2 000 rot/min.

I. electric transmite informația de variație a presiunii din cilindrul motor prin intermediul electricității. În funcție de tipul traductorului utilizat, **i.** electric poate fi: capacitiv, rezistiv, piezoelectric, inductiv sau fotocatodic. **I.** electrice sînt cele mai des utilizate, deoarece prezintă precizie în funcționare și fiabilitate ridicată. Pot fi folosite la încercarea motoarelor rapide.

I. electric inductiv funcționează pe baza variației curentului indus în spirele unui electromagnet de către o membrană elastică. Deplasarea (vibrația) membranei este dată de presiunea gazelor din cilindrul motorului. Curentul electric cules este amplificat și introdus într-un oscilograf (de obicei, electromagnetic).

I. inductiv are o construcție simplă, însă precizia măsurătorilor este afectată de dependența liniară a variațiilor intensității curentului, de variațiile presiunii și de frecările dintre cilindru și piston (ce nu pot fi precis evaluate).

INDICATOR DE PRESIUNE MAXIMĂ (pentru motoare). Aparat care, la o mașină termică cu piston, permite determinarea valorii maxime a presiunii indicate. În lipsa aprinderii, aparatul permite înregistrarea presiunii de la sfîrșitul comprimării. Aparatul înregistrează valoarea presiunii într-un singur punct al ciclului motor. **I. de p.m.** se compune dintr-un captator sau traductor de presiune și dintr-un dispozitiv de înregistrare (de obicei, mecanic).

INDICATOR STROBOSCOPIC. Aparat utilizat pentru reglarea aprinderii la motoarele cu aprindere prin scînteie sau a punctului de injecție la motoarele diesel. **I.s.** este reprezentat ca o sursă de lumină focalizată, de mare luminozitate (bec cu halogen), comandată de un circuit electronic ce primește impulsuri de la sistemul de aprindere al motorului sau de la pompa de injecție pentru motoare diesel.

De obicei, lampa stroboscopică se intercalează în circuitul de înaltă tensiune al bujiei cilindrului nr. 1 al motorului, respectiv în circuitul injectorului cilindrului *1*, primind astfel impulsuri ori de cîte ori se produce scînteia electrică la această bujie (respectiv injecția de motorină la primul injector).

Scanned with OKEN Scanner

Știind că reglarea avansului motorului se face în funcție de poziția pistonului cilindrului nr. 1 (de obicei) față de p.m.i., la finele cursei de comprimare, lampa stroboscopică permite vizualizarea reperului ce marchează acest moment și, astfel, face posibilă reglarea avansului aprinderii (sau injecției de combustibil).

I.s. este cunoscut, datorită formei constructive sub care se prezintă, și sub denumirea de „pistol stroboscopic".

INDICE DIESEL. v. Diesel (Indice)

INDICE DE pH. v. pH (Indice)

INDICE TEHNICO-ECONOMIC. Mărime caracteristică unei mașini termice, instalații, întreprinderi sau unei ramuri a economiei naționale, folosită în compararea rezultatelor activității acesteia cu planul de producție, cu rezultatele activității ei din perioada anterioară sau, în cazul unei întreprinderi, cu întreprinderi similare și, mai ales, cu cele cu tehnicitate înaltă. Prin simplificarea definirii sale, **i.t.e.** se poate aplica și unor structuri de producție mai simple (secții sau subsecții ale unei întreprinderi, echipamente complexe, agregate, mașini). **I.t.e.** reflectă eficiența economică a unei activități sau măsuri tehnice, respectiv presupune o corelație directă sau indirectă între efecte și cheltuieli, în vederea perfecționării procesului de cheltuire a resurselor. Raportul direct semnifică mărimea efectelor care revine pe unitatea de cheltuială, iar cel indirect arată volumul de cheltuieli pe unitatea de efect.

În definirea **i.t.e.** se deosebesc mai multe forme de eficiență:

— Eficiența analitică presupune un raport (direct sau indirect) între cheltuiala pentru o resursă (forță de muncă, mijloc de muncă sau obiect al muncii) și unul dintre următoarele efecte ale procesului de muncă: volum de producție, economii, eliberări de resurse ocupate sau spor de calitate.

— Eficiența economică analitică-sintetică este forma în care ambele elemente ale raportului ori numai unul dintre ele sînt exprimate valoric. Exprimarea valorică permite diverse însumări simple de cheltuieli și de efecte, diferite ca natură și structură.

— Eficiența integrală (sau sintetică), spre deosebire de eficiența analitică-sintetică, reprezintă o corelație de raport a unuia dintre efectele menționate nu cu o singură resursă sau cheltuială parțială, ci cu o grupă de resurse sau de cheltuieli ori cu mai multe grupe. Ea presupune, deci, o trecere de la cheltuielile pentru o resursă izolată (forță de muncă, mijloc de muncă și materiale) la cheltuielile pentru una sau mai multe grupe de resurse. Grupa de resurse presupune: resurse consumate, exprimate în costurile de producție totale, resurse ocupate cuprinzînd ansamblul mijloacelor fixe și circulante și resurse avansate în perioada dată, concretizate în investiții. Eficiența sintetică apare, astfel, ca un atribut al acestor grupe de resurse.

După natura cheltuielilor se deosebesc:

— eficiența resurselor consumate sau a costurilor;

— eficiența resurselor ocupate sau a mijloacelor fixe și circulante;

— eficiența resurselor avansate în perioada dată sau a investițiilor.

După natura efectelor, eficiența fiecăreia dintre aceste grupe de resurse, ca și a unei resurse, poate lua una dintre următoarele forme de eficiență:

— productivitate, cînd efectul este exprimat prin producție;

— economicitate, dacă efectul îl constituie economiile de resurse;

— rentabilitate, cînd efectul este venitul net, total sau numai beneficiile.

Necesitatea indicilor de eficiență integrală complexă decurge din trei cerințe:

— formarea unei imagini globale asupra eficienței a două sau a tuturor celor trei grupe de resurse ori cheltuieli, sau a două ori a mai multor efecte împreună;

— necesitatea de a însuma și a compara cheltuieli și efecte distanțate în timp, pe o perioadă de mai mulți ani;

— comparația dintre mărimea eficienței individuale și mărimea unui indice de eficiență normat care s-o facă admisibilă.

Trecerea de la o eficiență care reflectă atît folosirea rațională a mai multor grupe de resurse sau a mai multor efecte distanțate în timp, cît și interesele economiei naționale presupun nu o însumare simplă a grupelor de cheltuieli sau de efecte parțiale, ci o însumare specială, după o echivalare prealabilă „ca natură" și „după timp" a resurselor și efectelor.

Echivalarea ca natură a cheltuielilor se face între resursele ocupate și cele consumate, exprimate în costurile de producție, ca și între investiții și resursele consumate. Această echivalare este necesară din două motive:

— în primul rînd, este impusă de cerința de a reflecta în costurile întreprinderii valorile de întrebuințare pierdute, datorită existenței fondurilor proprii fixe și circulante imobilizate, în condițiile în care se consideră o rotație continuă a valorilor și o lichiditate permanentă;

Scanned with OKEN Scanner

— în al doilea rînd, este impusă de faptul că resursele ocupate sînt cheltuieli unice, pe cînd cele consumate, costurile de exploatare se repetă cu fiecare ciclu sau an de fabricație.

Echivalarea ca natură a efectelor cuprinde cîteva forme, și anume: transformarea eliberărilor de resurse ocupate și de investiții în economii la costuri de producție, îmbunătățirea calității producției în vederea însumării acestui efect fie cu sporul producției, fie cu economiile sau cu sporul de venit net, transformarea economiilor în spor de producție.

Echivalarea după timp a resurselor și a efectelor este o echivalare dinamică, care depășește perioada de un an. Baza echivalării după timp se explică prin valoarea de întrebuințare mai mică și, ca urmare, prin valoarea mai redusă pe care o au resursele și efectele viitoare îndepărtate în timp, în raport cu aceleași bunuri, din momentul calculului de eficiență. Cheltuielile făcute cu cîțiva ani mai tîrziu în raport cu momentul actual trebuie să fie mai reduse, ca urmare a micșorării lor cu efectul mobilizării sau circulației resurselor în alte întreprinderi, unde se presupune că pot aduce efecte la nivelul unei eficiențe viitoare normate. În ceea ce privește efectele obținute mai tîrziu, valoarea acestora este mai mică decît dacă s-ar fi obținut în anul calculului, întrucît ele sînt micșorate cu pierderile aferente imobilizării sau lipsei lor.

În tabelul I.1 se prezintă principalii indici folosiți în calculele de eficiență economică. În tabel s-au folosit următoarele notații:

C, F, I — grupe de resurse (C — cost anual; F — fonduri fixe plus mijloace circulante; I — investiții);

Q_p, Q, V_n — producția (globală sau marfă) pe o perioadă (an, trimestru etc.), producția fizică și, respectiv, venitul național (sau producția netă);

Tabelul I.1

Indici tehnico-economici de eficiență simplă și complexă[1]

Natura indicilor sintetici / Natura resurselor	Productivitate				Economicitate		Rentabilitate		
	în formă directă		în formă indirectă[2]				anuală		totală
	brută	netă	fizică valorică	valorică	în formă directă	în formă indirectă	în formă directă	în formă indirectă	în formă directă
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grupe simple: a) resurse consumate (C)	$\frac{Q_p}{C}$	$\frac{V_n}{C}$	$\frac{C}{Q}$	$\frac{C}{Q_p}$	$\frac{E}{C}$	—	$\frac{V}{C}$	—	$\frac{\bar{V}D}{C}$
b) resurse ocupate (F)	$\frac{Q_p}{F}$	$\frac{V_n}{F}$	$\frac{F}{Q}$	$\frac{F}{Q_p}$	—	—	$\frac{V}{F}$	—	$\frac{\bar{V}D}{F}$
c) resurse avansate (I)	$\frac{Q_p}{I}$	$\frac{V_n}{I}$	$\frac{I}{Q}$	$\frac{I}{Q_p}$	$\frac{E}{I}$	$\frac{I}{E}$	$\frac{V}{I}$	$\frac{I}{V}$	$\frac{\bar{V}D}{I}$
Grupe echivalate: d) ca natură (′)	$\frac{Q'_p}{C'}$	$\frac{V_1}{C'}$	$\frac{C'}{Q}$	$\frac{C'}{Q'_p}$	$\frac{E'}{C'}$	—	$\frac{V'}{C'}$	$\frac{C'}{V'}$	$\frac{\bar{V}T_n - I'}{I'}$ [3]
e) după timp (°)	$\frac{Q^\circ_p}{I^\circ}$	$\frac{V^\circ_n}{I^\circ}$	$\frac{I^\circ}{Q^\circ}$	$\frac{I^\circ}{Q^\circ_p}$	$\frac{E^\circ}{I^\circ}$	$\frac{I^\circ}{E^\circ}$	$\frac{V^\circ}{I^\circ}$	$\frac{I^\circ}{V^\circ}$	$\frac{\bar{V}^\circ D - I^\circ}{I^\circ}$
f) ca natură[4] și după timp (′°)	$\frac{Q'^\circ_p}{I^\circ}$	$\frac{V'^\circ_n}{I^\circ}$	$\frac{I^\circ}{Q^\circ}$	$\frac{I^\circ}{Q'^\circ_p}$	$\frac{E'^\circ}{I^\circ}$	$\frac{I^\circ}{E'^\circ}$	$\frac{V'^\circ}{I^\circ}$	—	$\frac{\bar{V}'^\circ T_n - I'^\circ}{I'^\circ}$

1) S-a făcut abstracție de efectul îmbunătățirii calității produselor;
2) Pentru simplificare nu au fost incluși și indicii productivității nete, exprimați în formă indirectă;
3) S-a făcut abstracție de forma brută a rentabilității totale echivalente, incluzîndu-se în tabel numai rentabilitatea totală netă (investițiile au fost scăzute din venitul net al întregii perioade de funcționare a obiectului sau al perioadei normate);
4) Pentru simplificare nu au fost redați și indicii în care cheltuielile sînt echivalente ca natură.

Scanned with OKEN Scanner

E, V, $\bar{V}$ — economiile anuale, venitul net anual și, respectiv, venitul net mediu anual;

D, T_n — durata de funcționare a obiectului de investiții și, respectiv, perioada normată de recuperare;

$'$ — indicativ pentru echivalarea ca natură a resurselor ocupate cu cele consumate;

o — indicativ pentru echivalarea după timp (actualizarea valorilor viitoare);

$'o$ — indicativ pentru echivalarea dublă, ca natură și după timp.

Se remarcă faptul că, cu cît se merge în tabel spre extremitatea de jos pe linii și coloane, cu atît indicii sînt, în general, mai sintetici, căpătînd un caracter final. Avînd în vedere notarea coloanelor cu cifre între 1 și 9 și a liniilor cu litere între *a* și *f*, se pot identifica indicii sintetici de largă răspîndire. Astfel, costul de producție unitar simplu se află în căsuța 3*a*, costul de producție unitar complex (care cuprinde și imobilizarea pentru fonduri) se găsește în căsuța 3*d*, indicele de cheltuieli la 1 leu producție-marfă este în căsuța 4*a*, iar perioada de recuperare statică din venitul net în căsuța 8*c*, pe cînd cea actualizată, în căsuța 8*c*.

INDICI CARACTERISTICI AI MOTOARELOR CU ARDERE INTERNĂ. Parametrii indicați și efectivi ai ciclurilor reale ale motoarelor cu ardere internă, privind performanțele energetice de putere, consum și eficiență.

1. **Presiunea medie indicată** este presiunea convențională care ar acționa asupra pistonului în timpul unei curse a acestuia și care ar produce un lucru mecanic egal cu lucrul mecanic indicat al ciclului.

Lucrul mecanic indicat al ciclului teoretic reprezintă suma algebrică a lucrurilor mecanice ale transformărilor care compun ciclul, respectiv lucrul mecanic schimbat cu exteriorul în cursul unui ciclu de către fluidul motor din toți cilindrii. Conform celor trei tipuri caracteristice de ciclu ale motoarelor cu ardere internă, lucrul mecanic indicat are expresia:

— pentru ciclul cu ardere la volum constant (Fig. I.9):

$$L_c = L_{3-4} - L_{1-2}$$

— pentru ciclul cu ardere la presiune constantă (Fig. I.10):

$$L_c = L_{2-3} + L_{3-4} - L_{1-2}$$

— pentru ciclul cu ardere mixtă (Fig. I.11):

$$L_C = L_{2'-3} + L_{3-4} - L_{1-2}.$$

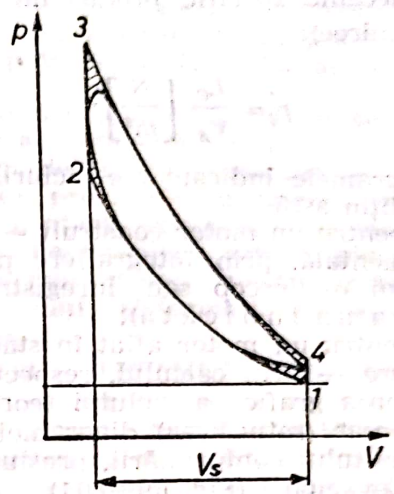


Fig. I.9. Ciclul motorului cu ardere la volum constant.

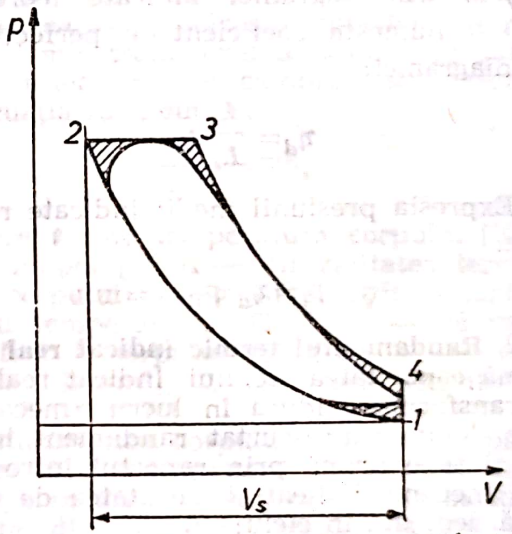


Fig. I.10. Ciclul motorului cu ardere la presiune constantă.

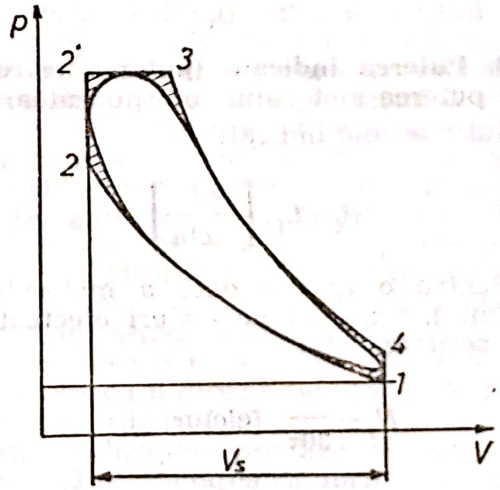


Fig. I.11. Ciclul motorului cu ardere mixtă.

Scanned with OKEN Scanner

Presiunea medie indicată teoretică poate fi exprimată prin raportul între lucrul mecanic indicat al ciclului și cilindree (lucru mecanic specific produs de unitatea de cilindree):

$$p_i' = \frac{L_c}{V_s} \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right].$$

Diagramele indicate ale ciclurilor reale se obțin astfel:

— pentru un motor construit — pe cale experimentală, prin fotografiere pe ecranul unui osciloscop sau înregistrare (v. Diagramă indicată);

— pentru un motor aflat în stadiu de proiectare — prin calculul, respectiv reprezentarea grafică a ciclului teoretic și „corectarea" (rotunjirea) diagramei în zonele sfîrșitului comprimării, presiunii maxime și evacuării (Fig. I.9÷I.11).

Raportul între aria diagramei reale (L_i) și aria diagramei indicate teoretice (L_c) se numește coeficient de perfecțiune al diagramei:

$$\eta_d = \frac{L_i}{L_c}.$$

Expresia presiunii medii indicate reale este:

$$p_i = \eta_d \cdot p_i'.$$

2. Randamentul termic indicat real exprimă capacitatea ciclului indicat real de a transforma căldura în lucru mecanic. Este denumit prescurtat randament indicat și se exprimă prin raportul între lucrul mecanic indicat și cantitatea de căldură degajată în ciclu:

$$\eta_i = \frac{L_i}{Q_i}.$$

3. Puterea indicată (puterea teoretică) este puterea motorului corespunzătoare lucrului mecanic indicat:

$$P_i = L_i \left[\frac{\text{kJ}}{\text{ciclu}}\right].$$

Pentru o turație dată a motorului n (rot/min), numărul de cicluri efectuat într-o secundă este:

$$N_c = \frac{n}{30\tau} \text{ [cicluri/s]},$$

unde τ este numărul de timpi ai motorului.

Pentru un motor cu i cilindri, puterea indicată este:

$$P_i = i \cdot L_i \frac{n}{30\tau} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}}\right] = i \frac{L_i n}{30\tau} \text{ [kW]} =$$

$$= 1{,}36 i \frac{L_i n}{30\tau} \text{ [C.P]}.$$

4. Consumul specific indicat de combustibil evaluează eficiența economică a ciclului, exprimat prin:

$$c_i = \frac{632}{\eta_i P_{ci}} \cdot 10^3 \left[\frac{\text{g}}{\text{CP} \cdot \text{h}}\right],$$

pentru P_{ci} $\left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}\right]$

$$c_i = \frac{264{,}55}{\eta_i \cdot P_{ci}} \left[\frac{\text{g}}{\text{CP} \cdot \text{h}}\right],$$

pentru P_{ci} $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$,

unde P_{ci} este puterea calorifică inferioară a combustibilului.

5. Presiunea medie efectivă reprezintă lucrul mecanic specific disponibil la arborele cotit.

Lucrul mecanic indicat realizat în cilindrul motorului se transmite arborelui cotit prin intermediul pistonului și mecanismului bielă-manivelă. Această transmitere de energie este însoțită de o serie de pierderi mecanice, datorate frecărilor. De asemenea, apar pierderi mecanice ca urmare a antrenării instalațiilor auxiliare ale motorului, precum și pierderi datorate lucrului mecanic de pompaj (v. Pompaj). Exprimînd aceste pierderi prin lucrurile mecanice consumate pentru învingerea lor, respectiv prin presiunea medie a lucrului mecanic corespunzător pierderilor mecanice (p_m), rezultă expresia presiunii medii efective:

$$p_e = p_i - p_m.$$

6. Randamentul mecanic este coeficientul de eficiență care evaluează pierderile mecanice ale motorului:

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i} = \frac{P_e}{P_i}.$$

7. Randamentul efectiv este coeficientul care evaluează atît gradul de imperfecțiune a ciclului teoretic, cît și pierde-

rile mecanice. Se exprimă prin raportul dintre căldura transformată în lucru mecanic efectiv (la arborele motorului) și căldura dezvoltată prin arderea combustibilului în cursul unui ciclu, în toți cilindrii motorului, pentru obținerea acestui lucru mecanic:

$$\eta_e = \frac{L_e}{Q_t} = \frac{L_t \cdot \eta_m}{Q_t} = \eta_t \cdot \eta_m.$$

8. Puterea efectivă este puterea disponibilă la flanșa de cuplare a arborelui cotit al motorului cu agregatul antrenat. În mod similar cu presiunea medie efectivă, puterea efectivă ia în considerare toate pierderile de putere (pierderile ciclului și ale motorului):

$$P_e = P_i - P_{mec},$$

sau

$$P_e = P_i \cdot \eta_m.$$

Expresia de calcul a puterii efective este:

$$P_e = \frac{p_e \cdot V_h \cdot \eta_t}{225\tau} \quad [\text{CP}].$$

9. Consumul specific efectiv de combustibil este indice de economicitate al motorului:

$$c_e = \frac{632}{\eta_e \cdot P_{ci}} \cdot 10^3 \left[\frac{\text{g}}{\text{CP} \cdot \text{h}}\right]$$

— pentru P_{ci} $\left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}\right]$

$$c_e = \frac{264{,}55}{\eta_e \cdot P_{ci}} \left[\frac{\text{g}}{\text{CP} \cdot \text{h}}\right]$$

— pentru P_{ci} $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$.

Relația de calcul a consumului specific de combustibil pentru motorul cuplat cu frîna de încercare este:

$$c_e = \frac{C_h}{P_e} \cdot 10^3 \left[\frac{\text{g}}{\text{CP} \cdot \text{h}}\right],$$

unde:

P_e este puterea calculată cu ajutorul frînei de încercare [CP], iar

C_h — consumul orar de combustibil.

$$C_h = \frac{3{,}6\,\Delta G}{\tau} \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right],$$

τ fiind timpul de consum [sec], iar ΔG — cantitatea de combustibil consumată în timpul τ [g].

INEL DE ETANȘARE. Organ care realizează etanșarea la suprafața de contact dintre arbore și inel sau inel și alezaj. **I. de e.** pot avea secțiuni diferite, în funcție de rolul pe care-l îndeplinesc: secțiune circulară (inel O), secțiune trapezoidală, pătrată, în I, în L, în X, în U etc.

De asemenea, în funcție de condițiile de lucru al organelor pe care le etanșează (regim de turație, presiune, viteză de deplasare), precum și de starea suprafețelor de contact, există diferite materiale pentru **i. de e.**: pîslă, azbest, piele, cauciuc (cel mai adesea), teflon, textolit.

Dimensiunile și forma **i. de e.** sînt standardizate.

INERȚIE TERMICĂ. Proprietate a unui sistem termic de a avea un timp mare de relaxare referitor la temperatură ca parametru de stare. **I.t.** se poate exprima prin viteza de variație a temperaturii în timp, fiind caracteristică proceselor termice tranzitorii (încălzirea sau răcirea corpurilor). Regimul termic tranzitoriu al unui corp fără surse interioare de căldură este descris de ecuația lui Fourier:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\nabla^2 t,$$

în care t este temperatura corpului [°C]; τ — timpul [s]; a — difuzivitatea termică a corpului $= \lambda/c \cdot \rho$ [m²/s]; $\nabla^2 t$ — laplacianul temperaturii [°C/m²]; c — căldura specifică a corpului [J]kg·K] ρ — densitatea [kg/m³]; λ — conductivitatea termică [W/m·K].

Difuzivitatea corpului a apare în procesele termice tranzitorii și caracterizează variația în timp a temperaturii. După cum rezultă din ecuație, gradientul temperaturii în timp $\partial t/\partial \tau$ într-un punct al unui corp este proporțional cu a, difuzivitatea termică fiind astfel o măsură a **i.t.** a corpului considerat. Cu cît viteza de variație a temperaturii unui corp este mai mare, cu atît difuzivitatea sa termică este mai ridicată, respectiv **i.t.** mai coborîtă. Pentru diverse corpuri valorile difuzivității termice sînt cuprinse în următoarele intervale: gaze $a = (0{,}1 \ldots 4)10^{-8}$ m²/s; lichide $a = (5 \ldots 20)10^{-8}$ m²/s; metale $a = (400 \ldots 10\,000)10^{-8}$ m/s; materiale de construcții $a = (10 \ldots 150)10^{-3}$ m²/s. Lichidele și gazele au, astfel, o difuzivitate termică coborîtă și deci o **i.t.** ridicată, în timp ce metalele posedă o difuzivitate termică mare, respectiv o **i.t.** redusă.

Dintre aplicațiile practice ale **i.t.**, se menționează acumularea căldurii, procedeu care se realizează cu ajutorul lichidelor ca fluid de stocare a căldurii (de exem-

Scanned with OKEN Scanner

plu, rezervoarele sau bazinele de apă pentru acumularea căldurii furnizate de captatoarele solare). Un alt exemplu îl reprezintă **i.t.** a clădirilor. Uniformitatea în timp a temperaturii aerului t_a și a temperaturii suprafețelor limitatoare t_s ale unei încăperi, dorită din motive de confort, depinde de modul de exploatare a instalației de încălzire, de evoluția în timp a producerii căldurii de către instalație, precum și de capacitatea de acumulare și de izolare termică a suprafețelor limitatoare ale încăperii. Pentru a păstra cît mai constante valorile t_a și t_s cel puțin în perioada de folosire a încăperii, pentru funcționarea cu regim intermitent, se recomandă, în general, instalații de încălzire cu **i.t.** mare (sobe de teracotă, radiatoare cu apă caldă, încălzire prin tavan) și elemente de construcție, care posedă o mare capacitate de acumulare termică. În contrast cu această situație, se poate lua ca exemplu o baracă, încălzită intermitent cu sobe de fontă, construcție cu **i.t.** coborîtă.

INFLAMABILITATE. Proprietate a unui corp de a se aprinde, în prezența unui oxidant.

Punctul de **i.** este temperatura cea mai joasă la care un combustibil are o tensiune de vapori suficient de mare pentru ca în amestec cu oxidantul să devină inflamabil. Se poate determina în vase închise (pentru petrol lampant aparatul Abel-Penky) și în vase deschise sau creuzete pentru uleiuri și păcură (aparatul Marennson).

INHIBARE. Fenomen de oprire, întîrziere sau încetinire a unei reacții chimice cu ajutorul inhibitorilor (v. Inhibitor).

INHIBITOR. Substanță care, adăugată în proporții mici într-un mediu, oprește total, întîrzie sau micșorează viteza unei reacții chimice. **I.** acționează în reacțiile care se desfășoară în lanț (polimerizări, autooxidări), combinîndu-se cu radicalii liberi ce inițiază și propagă lanțul respectiv de reacție și fac imposibilă reacția de propagare a lanțului. Fiecare radical liber format în etapa de inițiere consumă o moleculă de **i.** și se transformă într-un nou radical liber, mai puțin activ, care nu poate iniția un nou lanț de reacție, ci trece într-o moleculă stabilă. **I.** se consumă, deci, într-un anumit timp, numit *perioadă de inhibare*, după care reacția pornește cu viteză normală.

După reacțiile pe care le inhibă, **i.** se pot clasifica în: **i.** de acidifiere, **i.** de cataliză, **i.** de coroziune, **i.** de depunere a crustei, **i.** de îmbătrînire, **i.** de oxidare, **i.** de polimerizare, **i.** de rîncezire.

I. de acidifiere este compusul care, adăugat soluțiilor folosite în tratamentul cu acizi al sondelor (pentru mărirea permeabilității stratului), reduce acțiunea corozivă a acizilor asupra instalațiilor metalice. Cei mai utilizați sînt: aldehida formică 1...2% în soluție apoasă, amestecuri de sulfonați și sulfonaftenați, unele extracte tanante.

I. de cataliză este substanța care oprește sau încetinește o reacție catalizată. Fenomenul este cunoscut și sub numele de *cataliză negativă*.

I. de coroziune este compus chimic anorganic sau organic, care, adăugat în unele lichide sau soluții corosive, anulează sau micșorează viteza de coroziune a metalelor. Acțiunea sa se manifestă fie prin micșorarea vitezei de oxidare a metalului (cazul celor organici), fie prin formarea unui strat rezistent, compact și aderent la suprafață (cazul celor anorganici) (ex.: săruri de magneziu, de nichel, acid cromic sau cromați, hexametafosfat de sodiu, azotit de sodiu, benzaldehidă, tiouree, feniltiouree, o-toliltiouree). **I.** de coroziune se utilizează pentru a împiedica coroziunea prăjinilor în procesele de forare sau recuperare secundară a țițeiului, în industria metalurgică pentru economisirea acizilor de decapare și pentru evitarea fragilității de decapare, produsă de hidrogenul care se degajă cînd este atacat fierul metalic. **I.** fac ca acidul să nu atace decît combinațiile chimice ale fierului: arsura de laminare, arsura de recoacere, rugina, protejînd fierul metalic. Prin aceasta, se împiedică formarea hidrogenului, se evită fenomenul de fragilitate, precum și antrenarea vaporilor de acizi care corodează în timp construcțiile metalice.

I. de depunere a crustei este reactivul care, fără a împiedica posibilitatea de formare a crustei pe conducte sau în cazane, împiedică formarea de depozite coerente, rezistente. Mai frecvent folosiți sînt: acidul tanic și acidul galic.

I. de îmbătrînire este substanța care, adăugată cauciucului, prelungește timpul de utilizare (previne îmbătrînirea), prin întîrzierea procesului de oxidare. Cei mai utilizați sînt: mercaptobenzimidazolul (antioxidant MB), aldol-α-naftilamina (argerita), fenil-β-naftilamina (neozonul).

I. de oxidare este substanța sau amestecul de substanțe are împiedică sau întîrzie oxidarea cu oxigen a substanțelor ce conțin cel puțin o legătură dublă (autooxidarea) (ex.: iod, sulf, fosfor, ioduri, derivați ai sulfului, azotului, fosforului, unii alcooli, fenoli, amide). Pentru produse petroliere se folosesc drept antioxidanți fe-

Scanned with OKEN Scanner

noli substituiți, de tipul 2,6-di-terț-butil-4-metilfenolului care, adăugați în cantități mici în benzine și uleiuri, îmbunătățesc rezistența la oxidare.

I. de polimerizare este substanța care inhibă sau întîrzie procesul de polimerizare (ex.: chinone, hidrochinone, nitroderivați aromatici, alchil-fenoli), iar pentru unii monomeri (acetat de vinil, metacrilat de metil, stiren) chiar oxigenul molecular din aer. Monomerii ușor polimerizabili pot fi conservați prin adăugarea a numai 0,001% inhibitor.

I. de rîncezire sînt compuși naturali sau sintetici, care măresc durata de conservare a uleiurilor prin întîrzierea procesului de autooxidare (ex.: naturali — caroten, tocoferoli, gosipol, acidul nordihidroguaiaretic, extracte de ovăz; sintetici — polifenoli, esteri ai polifenolilor).

INJECȚIE (Proces de). Procedeu complex de pulverizare fină a combustibililor lichizi, în vederea vaporizării cît mai rapide a picăturilor pulverizate și a amestecării intime cu aerul. Formarea unui amestec aer-combustibil cît mai omogen conduce la o ardere eficientă și completă în motoarele cu ardere internă.

Principial, pulverizarea fină se realizează prin mărirea vitezei relative dintre jetul de combustibil lichid și aer. Cu cît viteza relativă dintre cele două fluide este mai mare, cu atît frecarea pe suprafața de contact, dintre jetul de combustibil și aer, devine mai importantă, intensificînd procesul de fărîmițare (pulverizare) a combustibilului în picături foarte mici (10—20 μm). Pentru mărirea vitezei jetului de combustibil în raport cu aerul, combustibilul lichid este refulat de către pompa de injecție la presiuni de ordinul sutelor și chiar miilor de daN/cm² și dirijat în masa de aer prin orificii calibrate cu diametrul de ordinul zecimilor de milimetru.

Combustibilul se pulverizează prin intermediul unui organ numit pulverizator, prevăzut cu orificii calibrate de pulverizare.

I. combustibilului se poate efectua în interiorul cilindrului motorului sau în afara acestuia. În primul caz, **i.** se produce cu avans față de punctul mort interior (PMI), către sfîrșitul cursei de comprimare, la presiuni de ordinul sutelor de daN/cm², astfel încît combustibilul fin pulverizat să aibă timp să se vaporizeze, să se amestece intim cu aerul aspirat în cilindru, să se autoaprindă și să ardă complet într-un timp foarte scurt. Această modalitate de formare a amestecului aer-combustibil, de aprindere și de ardere a acestuia, este caracteristică motorului diesel (cu aprindere prin comprimare) alimentat cu motorină, combustibil greu și combustibili neconvenționali (emulsii motorină-apă și motorină-metanol, amestec motorină-hidrogen etc.). În al doilea caz, **i.** se produce în colectorul de admisie sau în galeria de admisie, la presiuni relativ mici (2—5 daN/cm²) și este caracteristică motorului cu aprindere prin scînteie, alimentat cu combustibili care se vaporizează ușor (benzină, metanol, etanol etc.). În cilindrii motoarelor cu aprindere prin scînteie se aspiră un amestec aer-combustibil, care se aprinde prin intermediul unei scîntei electrice declanșată cu avans față de PMI (v. Motor cu aprindere prin scînteie). La aceste motoare, **i.** poate fi realizată și în interiorul cilindrului motorului la presiuni de 40—100 daN/cm² (în special în cazul utilizării combustibililor lichizi pe bază de alcool).

În funcție de tipul combustibilului lichid injectat în motor, se disting: **i. de motorină, i. de benzină, i. de combustibil greu, i. de combustibili neconvenționali** (metanol, emulsii motorină-apă, motorină-metanol etc.). În cazul utilizării hidrogenului drept combustibil în motoare diesel, există **i.** de hidrogen sau **i.** de amestec motorină-hidrogen.

Pentru **i.** fiecărui tip de combustibil menționat s-au dezvoltat echipamente de injecție specifice, modelul de bază constituindu-l echipamentul de injecție a motorinei (v. Fig. A.40). În general, pentru combustibilii care se vaporizează greu, echipamentul de injecție conține o pompă de injecție capabilă să realizeze presiuni de refulare suficient de mari pentru pulverizarea fină a combustibilului. Combustibilul este comprimat pe cale mecanică pînă cînd se atinge presiunea de refulare necesară pulverizării fine, în acest caz, **i.** fiind **mecanică.** Dacă pulverizarea rezultă ca urmare a presiunii combustibilului prezent într-un spațiu de acumulare, a forței unui arc sau a presiunii aerului din spațiul de acumulare, **i.** este **cu acumulare.** Cînd pulverizarea combustibilului se realizează prin antrenarea acestuia de către un jet de aer, **i. este pneumatică.** Cînd comanda debitului de combustibil injectat se realizează pe cale electrică, **i.** este **electronică.**

I. pilot constă în fracționarea cantității de combustibil injectat pe ciclu, cu scopul de a reduce doza injectată în cilindru în perioada întîrzierii la autoaprindere (se evită funcționarea brutală a motorului diesel). În acest caz **i.** decurge în două etape: în prima etapă se injectează o fracțiune mică din doza de combustibil care revine unui ciclu; în etapa a doua,

Scanned with OKEN Scanner

după consumarea întîrzierii la autoaprindere, se injectează fracțiunea principală. Combustibilul pilot ajuns în cilindrul motorului cu un avans mai mare față de punctul mort interior se va aprinde cu o întîrziere mare la autoaprindere; fiind însă în cantitate redusă, degajarea de căldură și creșterea de presiune sînt moderate.

Prin arderea cu anticipație a combustibilului pilot, presiunea și temperatura în cilindrul motorului cresc, avantajînd arderea combustibilului injectat ulterior. În consecință, durata de întîrziere la autoaprindere a fracțiunii principale de combustibil injectat în acest mediu va fi foarte redusă. Combustibilul va arde pe măsura introducerii lui în camera de ardere. Se asigură astfel o creștere mai lentă a presiunii în timpul procesului de ardere și un nivel scăzut pentru presiunea maximă de ardere, deci un mers mai liniștit al motorului și o solicitare mai redusă a pieselor.

I. pilot se realizează utilizînd fie o *pompă de injecție cu came cu profil special*, fie un *pulverizator cu ac de control* și *cu orificiu de descărcare parțială*. În varianta a doua de realizare, se utilizează un pulverizator de tip Pintaux. La motoare cu camere de ardere de mare turbulență, pulverizatorul Pintaux asigură, pe lîngă mersul liniștit al motorului, și o pornire mult mai ușoară.

Parametrii esențiali ce caracterizează procesul de **i.** și definesc cel mai bine calitățile unui echipament de injecție sînt: cantitatea de combustibil injectat pe ciclu, presiunea de injecție, durata injecției și caracteristica de injecție.

Cantitatea de combustibil injectat pe ciclu sau *debitul ciclic de combustibil injectat*, Q_i, reprezintă doza de combustibil introdusă în cilindrul motorului, la un anumit regim de funcționare, în timpul unui ciclu motor. De regulă, debitul ciclic de combustibil se exprimă în mm³/ciclu sau mm³/cursă (cursa pistonașului pompei de injecție) și poate fi calculat cu relația:

$$Q_i = \frac{P_e \cdot c_e \cdot 1\,000}{i \cdot \rho \cdot n_p \cdot 60} \quad [\text{mm}^3/\text{cursă}],$$

în care: P_e este puterea efectivă a motorului [kW]; c_e — consumul specific efectiv de combustibil [g/kWh]; i — numărul de cilindri ai motorului; ρ — densitatea combustibilului [g/cm³]; n_p — turația axului cu came al pompei de injecție [rot/min].

Reglarea debitului ciclic de combustibil injectat se face prin rotirea pistonașului pompei de injecție în jurul axei sale cu ajutorul cremalierei (la pompele de injecție cu piston-sertar), prin laminarea variabilă a aspirației combustibilului (la pompele cu distribuitor rotativ) [v. Pompă de injecție], prin intermediul duratei de deschidere a injectoarelor electromagnetice (în cazul **i.** electronice), sau cu ajutorul unor dozatoare speciale (în cazul **i.** de benzină).

Debitul ciclic de combustibil injectat poate fi determinat experimental, pe un stand de injecție, măsurînd volumul de combustibil acumulat în eprubeta standului, pentru un număr determinat de injecții (de regulă 100, 200, ..., 1 000). Pentru motoarele policilindrice este de mare importanță ca, în fiecare cilindru, să fie injectată aceeași cantitate de combustibil pe ciclu (uniformitatea injecției). În caz contrar, sînt afectate performanțele de putere și consum de combustibil, cresc emisiile poluante din gazele arse și solicitările lagărelor arborelui cotit etc. [v. Neuniformitate injecție].

Presiunea de i. (p_i) reprezintă presiunea combustibilului din amontele orificiilor de pulverizare. În timpul procesului de **i.**, presiunea p_i este variabilă (Fig. I.12). Presiunea la care începe **i.** combustibilul în cilindru se numește presiune inițială de **i.** (p_{i_0}). Cînd pulverizatorul este de ti-

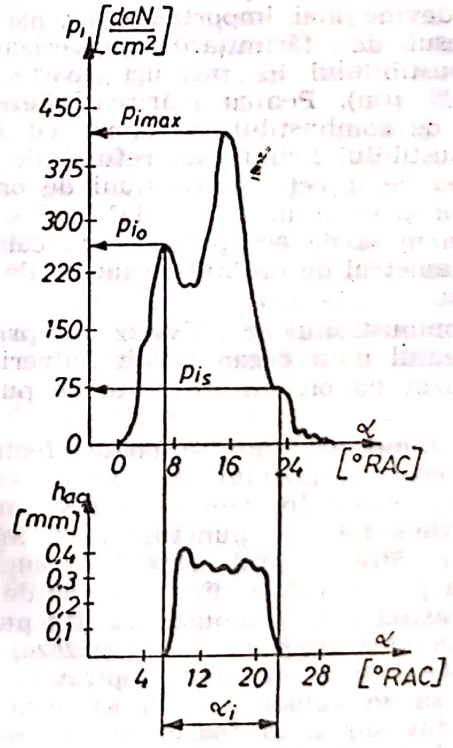


Fig. I.12. Variația presiunii de injecție și a ridicării acului pulverizatorului în funcție de unghiul de rotație a arborelui cotit.

pul închis (orificiul sau orificiile de pulverizare sînt controlate de un ac), prin presiunea inițială de **i.** se înțelege presiunea la care acul injectorului se ridică de pe sediu (Fig. I.12, h_{ac} — deplasarea acului). Presiunea maximă de **i.** ($p_{i\,max}$) depășește de 1,5—2 ori presiunea inițială p_i

Din punctul de vedere al formării amestecului aer-combustibil, autoaprinderii și arderii acestuia, atît presiunea inițială de **i.**, cît și presiunea finală de **i.** (p_{is}) trebuie să aibă valori cît mai mari (p_{i_0} mare presupune pulverizare fină, vaporizare rapidă, amestecare intimă cu aerul, întîrziere mică la autoaprindere; p_{i_s} mare înseamnă jet de combustibil penetrant, formarea corespunzătoare a amestecului către sfîrșitul procesului de **i.**, ardere completă în perioada arderii difuzive).

Pentru caracterizarea procesului de **i.** este foarte importantă și viteza w_0 a combustibilului prin orificiul de pulverizare. Viteza w_0 oferă informații cu privire la *energia cinetică a jetului de combustibil;* w_0 se poate calcula cu relația:

$$w_0 = \varphi_0 \sqrt{2 \cdot 10^5 (p_{i_0} - p_{cil})/\rho_c} \quad [\text{m/s}],$$

în care φ_0 este coeficientul de viteză al orificiului de pulverizare; p_{cil} — presiunea aerului în cilindrul motorului, la începutul **i.** [daN/cm^2]; ρ_c — densitatea combustibilului [kg/m^3]. Întrucît p_{io} și p_{cil} variază pe ciclu, rezultă că și w_0 variază în timpul **i.** Cînd viteza w_0 crește, diametrul mediu d_p al picăturilor de combustibil se micșorează (Fig. I.13), iar penetrația jetului se amplifică.

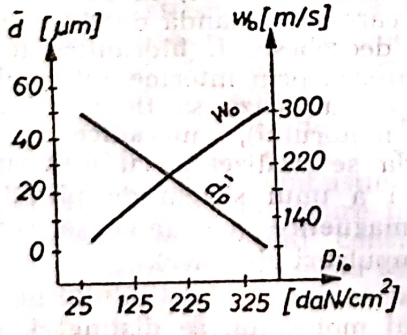


Fig. I.13. Variația vitezei de injecție și a diametrului mediu al picăturilor în funcție de presiunea inițială de injecție.

La proiectarea echipamentelor de **i.**, w_0 apare ca un parametru impus. În acest caz, relația de mai sus servește pentru calculul presiunii de **i.**

Presiunea de **i.** poate fi înregistrată cu ajutorul traductoarelor de presiune piezoelectrice. Traductoarele piezoelectrice se montează, în general, în zona de intrare a combustibilului în injector.

Durata **i.** reprezintă perioada de timp în care are loc **i.** combustibilului în motor. La pulverizatoarele cu ac, **i.** durează din momentul ridicării acului pulverizatorului de pe sediu și pînă în momentul revenirii acestuia în poziția inițială (v. Fig. I.12). În cazul echipamentelor de **i.** dotate cu pulverizatoare fără ac (pulverizatoare deschise — întîlnite la unele echipamente pentru **i.** benzinei), durata **i.** reprezintă durata procesului de dozare.

Durata **i.** se notează, de regulă, cu α_i sau τ_i și se măsoară în °RAC (grade rotație arbore cotit) milisecunde. Între α_i și τ_i există relația:

$$\alpha_i = 6n\tau_i,$$

în care n reprezintă turația motorului [rot/min].

La pulverizatoarele cu ac, durata **i.** se poate determina prin înregistrarea deplasării acului cu ajutorul unor traductoare inductive.

La motoare diesel $\alpha_i = 15 \ldots 30$ °RAC; la motoare cu aprindere prin scînteie, cînd **i.** de benzină se realizează în colector, durata **i.** poate fi egală cu durata de deschidere a supapei de admisiune.

Caracteristica de **i.** reprezintă funcția care exprimă variația în timp a cantității de combustibil injectat în cilindrul motorului. Pentru motoarele diesel cunoașterea caracteristicii de **i.** este esențială, aceasta influențînd formarea amestecului, întîrzierea la autoaprindere și arderea, deci performanțele și economicitatea motorului. Caracteristica de **i.** depinde de parametrii constructivi și funcționali ai echipamentului de **i.** Prin modificarea acestora se poate asigura caracteristica de **i.** optimă pentru orice motor diesel. Optimizarea se realizează în faza de acordare a echipamentului de **i.** cu motorul [v. Pompă de injecție].

Caracteristica de **i.** poate fi redată în formă diferențială sau în formă integrală. Caracteristica de **i.** în formă diferențială se poate determina experimental printr-o metodă potrivit căreia combustibilul care traversează orificiile de pulverizare străbate o conductă de secțiune constantă și lungime mare. Metoda presupune înregistrarea variației presiunii

combustibilului la ieşirea din pulverizator cu ajutorul unui traductor. Debitul de combustibil în secţiunea în care este montat traductorului se calculează cu relaţia:

$$Q_i' = A_c \cdot v = A_c \cdot p_{pulv}(a \cdot \rho) \quad [cm^3/s],$$

unde A_c este secţiunea de curgere a conductei [cm²]; v — viteza instantanee a combustibilului [cm/s]; p_{pulv} — presiunea combustibilului la ieşirea din pulverizator [daN/cm²]; a — viteza de propagare a undei de presiune [cm/s]; ρ — masa specifică a combustibilului [daN·s²/cm⁴].

Curba de variaţie în timp a lui Q_i' reprezintă caracteristica de **i.** în formă diferenţială. Dacă în relaţia de mai sus mărimile A_c, a şi ρ sînt constante, atunci relaţia de mai sus se poate scrie $Q_i' = k \cdot p_{pulv}$, variaţia lui Q_i' fiind similară cu variaţia lui p_{pulv}. Prin urmare, curba de variaţie a presiunii combustibilului la ieşirea din pulverizator reprezintă, la o altă scară, caracteristica de **i.** în formă diferenţială.

Caracteristica de **i.** în formă integrală (Fig. I.14) se obţine prin însumarea succesivă a cantităţilor de combustibil injectat, pe intervale de unghi (sau de timp) suficient de mici, pe toată durata de **i.** Cantitatea de combustibil pe interval se calculează cu relaţia

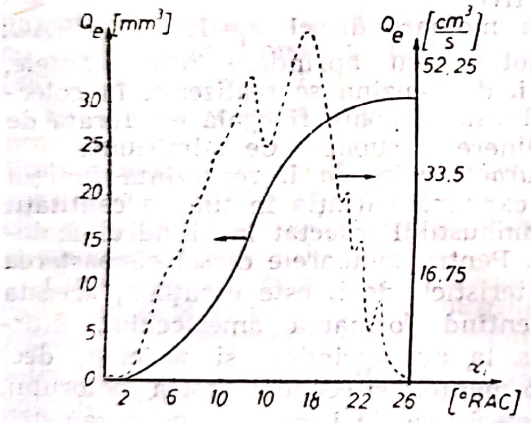


Fig. I.14. Caracteristica de injecţie în formă integrală (Q_e) şi în formă diferenţială (Q_e').

$$Q = k \cdot p_{pulv}(\Delta\alpha/6 \cdot n) \quad [cm^3],$$

în care $\Delta\alpha$ este ordinul de mărime al intervalului de calcul considerat, iar n — turaţia motorului. Punctul final de pe caracteristica de **i.** integrală reprezintă cantitatea totală de combustibil injectat pe ciclu Q_i, determinată prin metoda însumării succesive a cantităţilor de combustibil pe interval. Între cantitatea de combustibil injectat pe ciclu, determinată prin calcul cu metoda de mai sus, şi cantitatea de combustibil injectat pe ciclu, măsurată experimental cu eprubeta standului de **i.**, apar, de regulă, diferenţe. Acestea se datoresc, în principal, următoarelor cauze: neliniaritatea scării unghiurilor pe oscilograma caracteristicii de **i.** diferenţiale, diferenţele existente între presiunea reală a combustibilului la ieşirea din pulverizator şi cea măsurată, etc. Din acest motiv, reprezentarea grafică a caracteristicii de **i.** integrale se face numai după ce cantitatea calculată de combustibil injectat a fost corectată cu coeficientul $k_1 = Q_{i_{exp}}/Q_{i_{calc}}$ care poate fi subunitar sau supraunitar.

INJECTOR. Element component al echipamentului de injecţie al motoarelor cu ardere internă, cu rol de introducere a combustibilului în cilindrul motorului, de pulverizare fină a acestuia şi de distribuire uniformă a picăturilor de combustibil în camera de ardere.

Partea principală a injectorului o constituie *pulverizatorul*, în care sînt prelucrate unul sau mai multe orificii calibrate de pulverizare, cu diametre de ordinul zecimilor de milimetru. Ca atare, pulverizarea fină a combustibilului depinde de construcţia pulverizatorului dar şi de mişcarea organizată a aerului în camera de ardere (motoare diesel).

După cum orificiul de pulverizare este controlat sau nu de către o supapă (în general în formă de ac), **i.** se împart în **i. închise şi i. deschise.**

În cazul **i.** închise, în funcţie de modul în care se comandă deschiderea supapei se deosebesc: **i. hidraulice** (comanda se realizează prin intermediul combustibilului care urmează să fie injectat în cilindrul motorului), **i. mecanice** (Fig. I.23 — comanda se realizează cu ajutorul unor came şi a unui sistem de pîrghii) şi **i. electromagnetice** (comanda se realizează prin impulsuri electrice).

După natura combustibilului injectat în cilindrul motorului, se disting: **i. de motorină** (utilizate şi în cazul injecţiei emulsiilor motorină-apă, motorină-metanol etc.), **i. de benzină, i. de combustibil greu** şi **i. de hidrogen** (în cazul utilizării hidrogenului drept combustibil în motoare cu ardere internă).

Din punct de vedere constructiv şi funcţional, **i. deschis** este cel mai simplu

Scanned with OKEN Scanner

(Fig. I.15). Acesta este format din corpul injectorului *1*, pulverizatorul *2* și piulița *3* prin care pulverizatorul se asamblează la **i.** Corpul **i.** este prevăzut cu un racord de legătură la conducta de înaltă presiune și o canalizație interioară prin care combustibilul ajunge la orificiul de pulverizare. La trecerea combustibilului prin

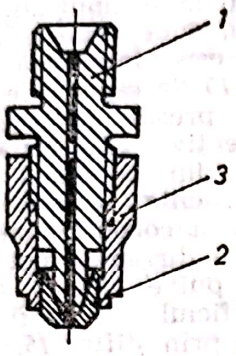


Fig. I.15. Injector deschis.

orificiul (sau orificiile) de pulverizare apar rezistențe hidraulice importante, datorită diametrului mic al orificiilor, ceea ce determină pulverizarea combustibilului.

Avantajele **i.** deschis sînt: construcție simplă (tehnologic ușor de realizat), fiabilitate și durabilitate sporite în exploatare (lipsesc piesele în mișcare care constituie principala cauză a uzurilor și defecțiunilor ce apar în timpul funcționării), posibilitatea eliminării aerului care ar pătrunde în conducta de înaltă presiune.

I. deschis are o răspîndire restrînsă. La unele echipamente pentru injecția benzinei în colectorul sau galeria de admisie din cauza dezavantajelor pe care le prezintă: injecția începe la presiuni foarte mici, din care cauză pulverizarea și penetrația jetului de combustibil sînt nesatisfăcătoare, ceea ce duce la mărirea întîrzierii la autoaprindere (motorul funcționează brutal); sfîrșitul injecției are loc, de asemenea, la presiuni foarte mici și nu poate fi controlat (finețea pulverizării și penetrația jetului nu sînt satisfăcătoare, astfel că ultimele fracțiuni de combustibil injectat ard ineficient); după terminarea procesului de injecție, combustibilul din canalizația **i.** continuă să picure în cilindrul motorului, înrăutățind considerabil condițiile de ardere și înlesnind formarea de calamină care poate obtura orificiul de pulverizare; gazele fierbinți din cilindrul motorului, ridică temperatura pulverizatorului, avînd consecințe nefavorabile asupra durabilității lui.

Utilizarea **i.** deschise dă rezultate satisfăcătoare în cazul injecției de benzină.

I. închis are orificiul (orificiile) de pulverizare controlat de un ac, menținut în poziția închis cu ajutorul unui arc elicoidal.

După forma vîrfului acului, **i.** închise se împart, în două categorii: **i.** cu ac cu *vîrf conic* și **i.** *cu ac cu vîrf profilat* (Fig. I.16).

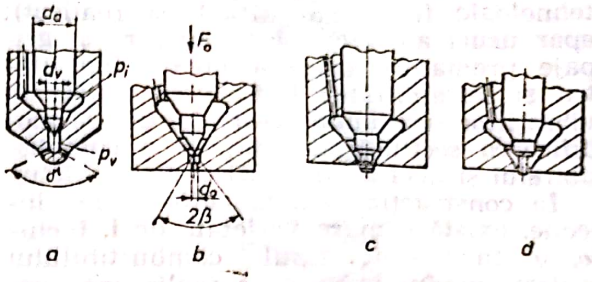


Fig. I.16. Injectoare închise:
a — cu ac conic și mai multe orificii de pulverizare; *b* — cu ac conic și un singur orificiu de pulverizare; *c* — cu știft dublu tronconic; *d* — cu știft cilindric.

I. cu ac cu vîrf conic, la care pulverizatoarele au mai multe orificii de pulverizare, se utilizează de regulă la motoarele cu cameră de ardere unitară, asigură o distribuție convenabilă a combustibilului în camera de ardere și o penetrație mare a jeturilor de combustibil în camera de ardere. La motoarele cu cameră de preardere, se utilizează **i.** cu ac cu vîrf conic și un singur orificiu de pulverizare, deoarece este nevoie de un jet compact de combustibil cu penetrație mare.

Echipamentele de injecție cu care sînt dotate motoarele cu ardere internă de construcție actuală sînt prevăzute cu **i.** închise.

În cazul injecției mecanice, la majoritatea construcțiilor, comanda deschiderii acului pulverizatorului se face hidraulic. Sînt și echipamente de injecție la care comanda deschiderii acului pulverizatorului se realizează mecanic.

În cazul injecției electronice, comanda deschiderii acului pulverizatorului este electromecanică.

Avantajele esențiale introduse de **i.** închise, care au făcut ca răspîndirea acestora să fie aproape generală în echipamentele de injecție ale motoarelor cu ardere internă sînt: injecția începe la presiune ridicată, a cărei valoare poate fi aleasă convenabil prin modificarea tensiunii arcului elicoidal (combustibilul este fin pulverizat chiar de la începutul procesului de injecție), și, totodată, sfîrșitul procesului de injecție are loc la presiuni înalte, cu efecte benefice asupra penetrației jetului și arderii ultimelor fracțiuni de combustibil injectat; faptul că orificiul de pulverizare este închis după terminarea procesului de injecție elimină fenomenele de picurare de combustibil și de pătrundere a flăcării

Scanned with OKEN Scanner

și gazelor fierbinți pe canalizația de combustibil.

Dezavantajele i. închise sînt cauzate de: existența pieselor în mișcare (prezența acestora complică construcția i., tehnologic fiind mai dificil de realizat); apar uzuri ale pieselor în mișcare și gripaje premature (care afectează fiabilitatea și durabilitatea i. închise); existența vibrațiilor sistemului ac-arc (ce duc la modificarea secțiunii de curgere a combustibilului și deci a dozei injectate pe ciclu).

În construcția echipamentelor de injecție, există o mare varietate de i. închise, în funcție de: tipul combustibilului utilizat; modul în care se realizează comanda deschiderii acului; particularitățile constructive și funcționale ale motorului etc.

I. de motorină cu comandă hidraulică a acului pulverizatorului au construcția clasică prezentată în figura I.17. Corpul i.

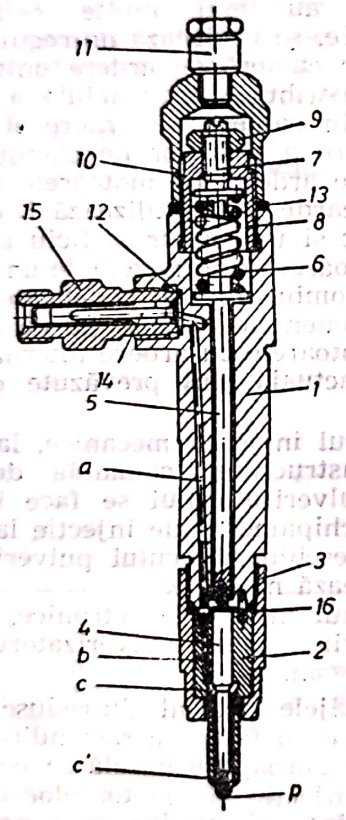


Fig. I.17. Injector de motorină cu comandă hidraulică: *1* — corp; *2* — pulverizator; *3* — piuliță de legătură; *4* — acul pulverizatorului; *5* — tijă; *6* — arc; *7* — șurub de reglare; *8* — șurub intermediar; *9* — piuliță; *10* — capac; *11* — racord; *12* și *13* — garnituri de etanșare; *14* — filtru preventiv; *15* — racord; *16* — știft; *a* și *b* — canalizații de motorină; *c* și *c'* — camere ale pulverizatorului; *p* — orificii de pulverizare.

1 este asamblat cu pulverizatorul *2* prin intermediul piuliței speciale *3*. În corpul pulverizatorului se introduce acul *4*, menținut pe sediu cu ajutorul tijei *5* și a arcului elicoidal cilindric *6*. Tensiunea arcului este reglabilă. În acest sens, se utilizează șurubul de reglare *7*, care se deplasează în piesa *8* și se fixează cu contrapiulița *9*. Accesul la șurubul de reglare este posibil prin îndepărtarea capacului *10*. Motorina este introdusă în injector prin racordul *15* (la care se leagă conducta de înaltă presiune); acesta conține filtrul preventiv *14*, capabil să rețină impuritățile din conducta de înaltă presiune. Orificiile *a* și *b* prelucrate în corpul i. și corpul pulverizatorului servesc pentru dirijarea motorinei către orificiile de pulverizare *p*. Corespondența dintre orificiul *a* și orificiul *b* se asigură la montaj prin știftul *16*. Ridicarea acului de pe sediul prelucrat în corpul pulverizatorului are loc sub acțiunea forței dezvoltate de presiunea combustibilului din camera pulverizatorului *c*, asupra porțiunii conice a acului. Porțiunea cilindrică a i. (de diametru mare) asigură etanșarea și se prelucrează cu precizie deosebită (jocul dintre ac și alezajul din corpul pulverizatorului este de 1,5—3 μm). Deși jocul dintre ac și corp este foarte mic, datorită presiunii ridicate apar scăpări de motorină. Scăpările de motorină asigură ungerea suprafețelor cilindrice în frecare, în zona de etanșare, apoi sînt dirijate către partea superioară a i. După ce traversează orificiul axial din șurubul de reglare, acestea sînt colectate prin intermediul racordului *11*. Etanșarea pe suprafețele de așezare a capacului *10* și racordului *15* se realizează cu garniturile din cupru *13* și *12*.

Condiția de ridicare a acului de pe sediu este:

$$F_0 < \pi(d_a^2 - d_v^2)p_{i_0}/4 + \pi d_v^2 p_{cil}/4,$$

unde F_0 reprezintă tensiunea inițială a arcului elicoidal; d_a și d_v — diametrele celor două porțiuni cilindrice care delimitează zona conică a acului (Fig. I.16 *a*); p_{i_0} — presiunea inițială de injecție; p_{cil} — presiunea din cilindrul motorului în momentul deschiderii acului.

După ridicarea acului, motorina începe să pătrundă în cilindrul motorului; presiunea p_i din camera *c* a pulverizatorului (Fig. I.16 *a* și I.17) este redusă de secțiunea de laminare oferită de vîrful

acului, ca urmare $p_{cil} < p_v < p_{i_0}$, iar acul se ataşează pe sediu sub influenţa forţei F_0.

Înălţimea de ridicare a acului este:

$$h_a = \pi(d_a^2 - d_v^2)p_i/(4k) + \pi d_v^2 p_v/(4k) - F_0,$$

unde k reprezintă constanta elastică a arcului.

Diametrul orificiului de pulverizare se calculează cu relaţia

$$d_0 = 13{,}4\sqrt{\frac{c_e \cdot P_e}{\mu_0 \cdot i \cdot z \cdot \alpha_i \sqrt{\rho(p_{i_0} - p_{cil})}}} \quad [\text{mm}],$$

în care c_e reprezintă consumul specific efectiv de combustibil în g/kWh; P_e — puterea efectivă a motorului [kW]; $\mu_0 = 0{,}65 \ldots 0{,}70$ este coeficientul de debit al orificiului pulverizatorului; i — numărul de cilindri ai motorului; z — numărul de orificii ale pulverizatorului; α_i — durata injecţiei [°RAC]; ρ — densitatea combustibilului [kg/m³]; p_{i_0} şi p_{cil} [N/m²].

Diametrul orificiului de pulverizare nu trebuie să coboare sub 0,1—0,2 mm, fiind limitat de tehnologia de execuţie.

I. de motorină se montează în culasa motorului astfel, încît orificiile pulverizatorului să orienteze jetul de combustibil după direcţii determinate de cerinţele procesului de formare a amestecului. În locaşul din culasă, **i.** se fixează cu ajutorul unor flanşe, bride sau piuliţe speciale.

Corpul **i.** se execută din oţel de tipul OLC sau AUT 4OMT. Pulverizatorul şi acul acestuia sînt confecţionate din oţeluri speciale.

I. pentru injecţia în cilindrul motorului a unor emulsii de motorină-apă, motorină-metanol etc. au aceeaşi construcţie ca şi **i.** de motorină cu comandă hidraulică.

I. de combustibil greu cu comandă hidraulică a acului **i.** nu diferă esenţial de **i.** de motorină. Construcţia **i.** de combustibil greu conţine în principal, aceleaşi elemente componente ca şi **i.** de motorină (Fig. I.18): corpul **i.** *1*, pulverizatorul *2*, acul *4*, piuliţa de legătură *3* şi arcul *5*.

Funcţionarea unui motor diesel cu combustibil greu solicită încălzirea acestuia la temperaturi de 100—130°C, pentru reducerea vîscozităţii mari a combustibilului greu la valori de 13—17 cSt solicitate de buna funcţionare a echipamentului de injecţie şi de pulberizarea fină a combustibilului în camera de ardere. Temperatura ridicată a combustibilului greu încălzit, cît şi încălzirea rezultată ca urmare

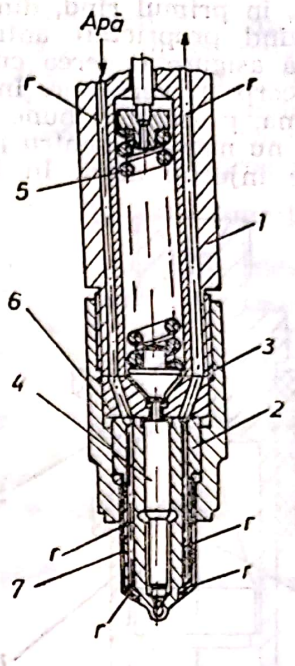


Fig. I.18. Injector de combustibil greu cu comandă hidraulică: *1* — corp; *2* — pulverizator; *3* — piuliţă de legătură; *4* — ac; *5* — arc; *6* — piesă intermediară; *7* — piesă pentru accesul lichidului de răcire; *r* — canalizaţii pentru accesul lichidului de răcire.

a procesului de ardere, fac ca regimul termic al pulverizatorului, în zona orificiilor de pulverizare, să fie deosebit de ridicat. Acesta produce cracarea combustibilului şi obturarea orificiilor de pulverizare. Din acest motiv, **i.** de combustibil greu trebuie răcite; este bine ca lichidul de răcire să ajungă cît mai aproape de vîrful pulverizatorului. În acest sens, în **i.** de combustibil greu se practică o canalizaţie suplimentară pentru răcire. Canalizaţia r se execută atît în corpul **i.**, cît şi în pulverizator (Fig. I.18). Piesele 6 şi 7 s-au introdus pentru asigurarea legăturii între canalizaţia din corpul **i.** şi pulverizator şi pentru asigurarea accesului lichidului de răcire cît mai aproape de vîrful pulverizatorului.

Ca lichide de răcire se pot utiliza uleiul şi apa. Se preferă apa (distilată sau tratată, pentru evitarea coroziunii şi a depunerilor) din motive de securitate. Circuitul apei de răcire a **i.** trebuie să fie independent de circuitul de răcire al motorului.

I. de benzină cu comandă hidraulică se deosebesc constructiv de **i.** de motorină sau de combustibil greu. Deosebi-

Scanned with OKEN Scanner

rea rezultă, în primul rînd, din faptul că benzina avînd proprietăţi antilubrifiante nu poate să asigure ungerea cuplului în frecare ac-corp pulverizator. În al doilea rînd, benzina, prezentînd bune calităţi de vaporizare, nu necesită pentru pulverizare presiuni de injecţie mari. În figura I.19

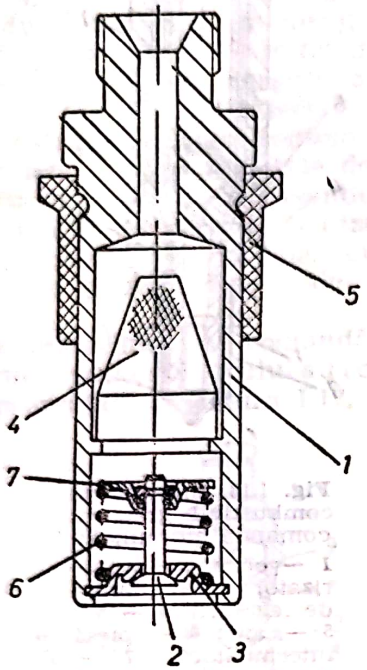


Fig. I.19. Injector de benzină cu comandă hidraulică:
1 — corp; *2* — supapă; *3* — rondelă; *4* — filtru; *5* — racord; *6* — arc; *7* — taler.

se prezintă ansamblul unui **i.** de benzină utilizat în echipamente de injecţie de joasă presiune (K-Jetronic). Elementul de bază al acestui injector îl constituie o supapă cu taler care se deschide către interiorul cilindrului motorului. Ansamblul de piese care asigură funcţionalitatea supapei *2* se află montat în corpul *1*. În rondela *3*, scaunul supapei *2* este prelucrat sferic. Prelucrarea sferică se aplică şi talerului supapei în zona de aşezare pe scaun. Supapa *2* este menţinută în poziţia închis de către arcul de compresiune *6*, care se sprijină cu capetele prelucrate pe rondela *3* şi talerul 7. Deschiderea eventualelor impurităţi, **i.** de benzină siunea benzinei (în cazul sistemului K-Jetronic, 3,3 daN/cm^2) asupra talerului 7 învinge forţa arcului *6*. Pulverizarea benzinei în camera de ardere se face sub forma unei pînze sferoidale. Pentru reţinerea eventualelor impurităţi, i. de benzină sînt prevăzute cu filtre de nailon cu dimensiunea ochiului de 15 μm.

Masa pieselor **i.** aflate în mişcare determină, în timpul funcţionării, mărirea frecvenţei proprii a sistemului oscilant, astfel încît, chiar şi la mersul în gol, cînd debitul de combustibil injectat este de circa 5 cm^3/min, frecvenţa proprie atinge valoarea de 1 500 Hz. Mărirea stabilităţii sistemului oscilant şi reducerea frecării dintre supapă şi sediu s-au rezolvat, prin adoptarea formei sferice a talerului supapei şi sediului acestuia. În vederea evitării apariţiei vaporilor de benzină în conducta de injecţie, după oprirea motorului temperatura maximă admisă pentru **i.**, în funcţionare, este de 95°C. În acest sens, **i.** sînt montate în galeria de admisie (în culasă) prin intermediul unor racorduri *5*, din material izolant termic (plastic).

În figura I.20 este prezentat ansamblul unui model de **i.** cu supapă la care supapa *1* este menţinută, în poziţia închis, pe

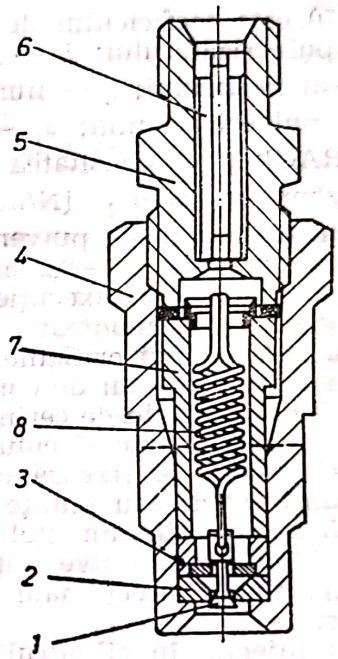


Fig. I.20. Injector de benzină cu supapă şi arc de tracţiune:
1 — supapă; *2* — pastilă; *3* — piesă intermediară; *4* — corp; *5* — racord; *6* — filtru preventiv; *7* — piesă intermediară; *8* — arc.

scaunul prelucrat în pastila *2* de către arcul *8* care lucrează la tracţiune. Deschiderea supapei *1* se realizează cînd presiunea benzinei asupra talerului supapei *1* învinge forţa arcului *8*. Ansamblul de piese care asigură funcţionalitatea supapei *1* se montează în alezajul prelucrat în corpul *4* şi se strînge prin intermediul racordului *5*. În racordul *5*, prin care conducta de injecţie se cuplează la **i.**, se montează filtrul preventiv *6*, de construcţie metalică. Pulverizarea benzinei se realizează sub forma unei pînze conice. Presiunea de deschidere a supapei este de ace-

Scanned with OKEN Scanner

laşi ordin de mărime ca şi la i. sistemului K-Jetronic. Avînd în vedere condiţiile de lucru ale i. de joasă presiune, materiale din care se execută elementele componente ale acestora sînt oţeluri obişnuite.

I. de hidrogen sau amestec motorină-hidrogen dezvoltate pînă în prezent pentru injecţia hidrogenului în cilindrul motorului diesel sînt de tip închis, de joasă presiune şi de înaltă presiune.

I. de joasă presiune permit accesul hidrogenului în cilindrul motorului la începutul cursei de comprimare; presiunea de injecţie nu depăşeşte, de regulă, 3 daN/cm². Asigurarea introducerii în cilindrul motorului a cantităţii de hidrogen necesară regimului nominal de funcţionare, pe o porţiune relativ mică din cursa de comprimare ($\Delta\alpha H_2 = 20 \ldots 30°$ RAC) la presiuni de injecţie care nu depăşesc valoarea de 3 daN/cm², solicită secţiuni mari de curgere la ieşirea din i. Acestea pot fi asigurate numai de supapele cu taler, motiv pentru care i. de hidrogen de joasă presiune prezintă în construcţia lor astfel de supape.

Ansamblul unui i. de joasă presiune este prezentat în figura I.21.

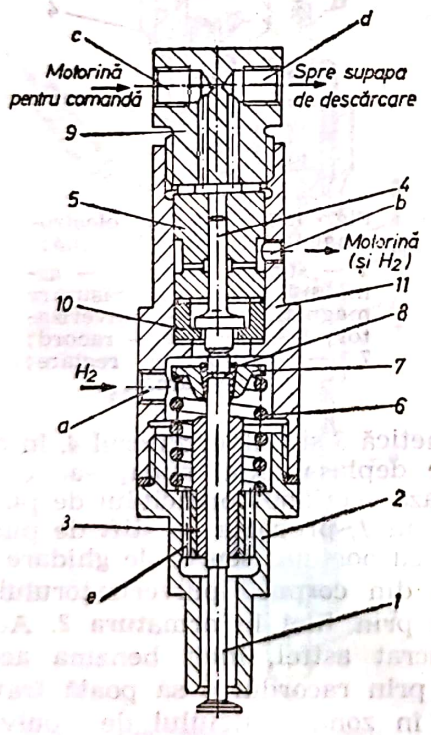


Fig. I.21. Injector de hidrogen de joasă presiune:
1 — supapă; *2* — corp; *3* — ghid; *4* — piston hidraulic; *5* — cilindru hidraulic; *6* — arc; *7* — taler; *8* — semicoonuri; *9* — capac de fixare; *10* — limitator; *11* — corp; *a, b, c, d, e* — orificii şi canale de acces şi drenaj pentru motorină şi hidrogen.

Doza de hidrogen pe ciclu se reglează, în funcţie de regimul de funcţionare, prin durata de deschidere a supapei.

Secţiunea de curgere a hidrogenului în camera de ardere se determină din relaţia debitului masic de hidrogen:

$$S = D_m/(\rho w) \quad [\text{mm}^2],$$

în care debitul masic de hidrogen D_m se calculează ca raport între masa de hidrogen injectată pe ciclu şi timpul necesar introducerii hidrogenului în cilindrul motorului.

Mărimile w şi ρ reprezintă viteza de curgere a hidrogenului şi densitatea acestuia. În ipoteza curgerii prin ajutaj, aceste mărimi se determină cu relaţiile:

$$w = \sqrt{2[k/(k-1)]R_{H_2}T_1[1-(p_2/p_1)^{(k-1)/k}]} \quad [\text{m/s}],$$

$$\rho_2 = p_1/(R_{H_2}T_2) \quad [\text{kg/m}^3],$$

în care: p_1 şi p_2 reprezintă presiunea hidrogenului în amontele, respectiv în avalul secţiunii de curgere controlată de supapă; k — exponentul adiabatic al hidrogenului; R_{H_2} — constanta generală a hidrogenului; T_1 — temperatura hidrogenului în amontele secţiunii de curgere; $T_2 = T_1 (p_2/p_1)^{(k-1)/k}$ temperatura hidrogenului în avalul secţiunii de curgere.

I. de înaltă presiune introduc hidrogenul în cilindru către sfîrşitul cursei de comprimare, la presiuni de 50—90 daN/cm². Constructiv, aceste i. pot fi realizate cu supape cu taltr sau cu supape-ac (asemănătoare acului pulverizatorului i. standard, utilizate pentru motorină). Secţiunea de curgere a hidrogenului în cilindru la i. de înaltă presiune pentru acelaşi regim de funcţionare al motorului este mult mai mică decît i. de joasă presiune.

Soluţia constructivă a unui i. de hidrogen de înaltă presiune este prezentată în figura I.22. La această construcţie, s-a adoptat varianta controlului orificiului de pulverizare a hidrogenului cu ajutorul unei supape-ac.

I. închise cu comandă electrică sau **i. electromagnetice** s-au dezvoltat ca urmare a apariţiei echipamentelor electronice de injecţie. În cazul injecţiei electronice de benzină, i. electromagnetice servesc atît la introducerea benzinei cît mai aproape de talerul supapei de admisie, cît şi la dozare şi pulverizare. Dozarea cantităţii de

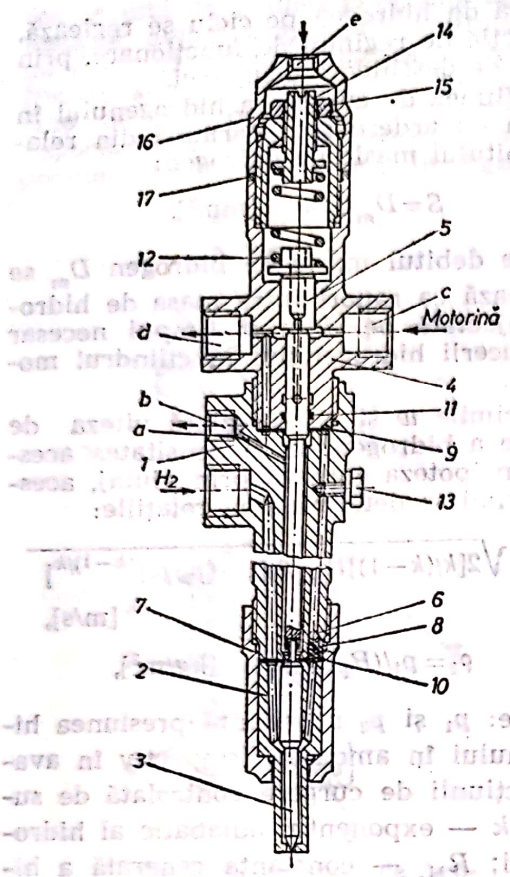


Fig. I.22. Injector de hidrogen de înaltă presiune:
1 — corp; *2* — pulverizator; *3* — ac; *4* — corp hidraulic; *5* — piston hidraulic; *6* — supapă; *7* — piuliță de legătură; *8* — arc; *9* și *10* — garnituri de etanșare; *11* — inel de etanșare; *12* — arc; *13* — șurub de laminare; *14* — șurub de reglare; *15* — piuliță; *16* — capac; *17* — garnitură de etanșare; *a, b, c, d, e* — orificii și canale de acces și drenare pentru hidrogen și motorină.

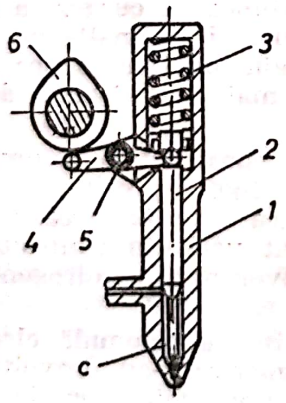


Fig. I.23. Injector închis cu comandă mecanică:
1 — corp; *2* — ac; *3* — arc; *4* — pîrghie de comandă; *5* — punct de articulație; *6* — camă; *c* — cameră.

benzină injectată pe ciclu se face prin reglarea timpului de deschidere a acului i., iar pulverizarea se asigură atît prin valoarea și forma secțiunii orificiului de pulverizare, cît și prin valoarea presiunii de injecție.

Un injector electromagnetic pentru injecția benzinei în colectorul de admisie este format, în principal, din corpul i. *5* (Fig. I.24), în care se fixează înfășurarea

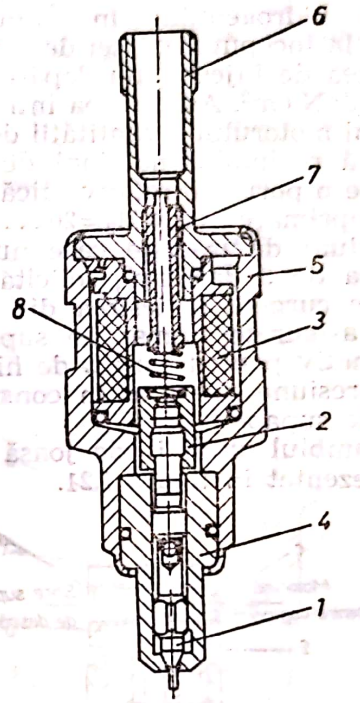


Fig. I.24. Injector electromagnetic pentru benzină:
1 — supapă — ac; *2* — armătură; *3* — înfășurare magnetică; *4* — pulverizator; *5* — corp; *6* — racord; *7* — șurub de reglare; *8* — arc.

magnetică *3* și pulverizatorul *4*, în care se poate deplasa axial supapa-ac care controlează secțiunea orificiului de pulverizare. Acul *1*, prevăzut cu știft de pulverizare și cu porțiuni scurte de ghidare în alezajul din corpul pulverizatorului, este prins prin filet în armătura *2*. Acul este prelucrat astfel, încît benzina accesibilă în i. prin racordul 6 să poată traversa i. pînă în zona orificiului de pulverizare. Acesta este menținut închis de acul *1* și arcul *8* atît timp cît înfășurarea magnetică *3* nu este traversată de semnale de curent. Injecția se produce atunci, cînd armătura *2* împreună cu acul *1* sînt atrase de solenoidul *3*, ca urmare a activării acestuia cu semnalul de curent transmis de unitatea electronică a echipamentului

de injecție. Pentru ridicarea acului *1* forța de atracție a armăturii *2* trebuie să învingă forța de comprimare a arcului *8*, greutatea armăturii și a acului și forța de frecare din zonele de ghidare. Durata de deschidere a orificiului de pulverizare (durata injecției) și timpul de injecție t_i sînt dependente de durata semnalului de activare a solenoidului *3;* de regulă, aceasta variază între 2,5 și 9 ms. Durata de ridicare a acului și cea de așezare pe sediu variază între 1,0 și 1,5 ms. Înălțimea de ridicare a acului este de circa 0,15 mm. Pulverizatorul *4* și racordul *6* se montează în corpul **i.** prin bordurare.

Presiunea benzinei în orificiile din corpul **i.** și în amontele orificiului de pulverizare este de circa 2 daN/cm^2. Împiedicarea scăpărilor de benzină către exterior este asigurată prin etanșarea cu inele „O" (Fig. I.24).

În figura I.25 este prezentat un **i.** electromagnetic utilizat în echipamentele electronice pentru injecția motorinei, la care comanda electrică este aplicată la închiderea acului. **I.** este format din corpul *1* și pulverizatorul *2*, asamblat la corp prin piulița *3*. Pulverizatorul este identic cu cel al **i.** hidraulice, de tipul cu bulb și orificii de pulverizare. În perioada în care **i.** este închis, acul *6* este menținut pe sediul din corpul pulverizatorului de către arcul *11*, prin intermediul tijei *7*. Tensiunea arcului *11* se reglează prin șaiba *12*. Ridicarea acului *6* se realizează hidraulic (cu motorină din circuitul de refulare al pompei de injecție), în momentul în care tensiunea arcului *11* este învinsă de forța creată de presiunea care acționează asupra suprafeței active a acului și tijei *7*. În corpul **i.**, în prelungirea tijei *7*, este montat sistemul care asigură controlul electric al închiderii acului *6*. Acesta este format din solenoidul *4*, armătura *5*, rigidizată cu acul *8* și piesa *9*. Acul *8* controlează orificiul de curgere prelucrat axial la partea inferioară a piesei *9*. Orificiul axial de curgere din piesa *9* este menținut închis de acul *8*, sub influența arcului *13*, cînd solenoidul *4* nu este activat. La activarea solenoidului *4*, armătura *5* și acul *8* se ridică, ca urmare a forței de atracție magnetice; se deschide astfel orificiul axial de curgere din piesa *9*. Motorina, accesibilă în zona orificiului axial de curgere, prin canalizațiile suplimentare practicate în corpul pulverizatorului și corpul **i.**, începe să curgă către racordul *10* prin canalizația executată în piesa *9*. În acest moment, se modifică raportul dintre forța produsă de presiunea motorinei și tensiunea arcului *11*, ceea ce determină așezarea acului *6* pe sediul din pulverizator. În acest mod, durata de deschidere a **i.** este controlată electric numai prin comanda de închidere a acului pulverizatorului. Ungerea pieselor în frecare se asigură cu motorină, dirijată corespunzător.

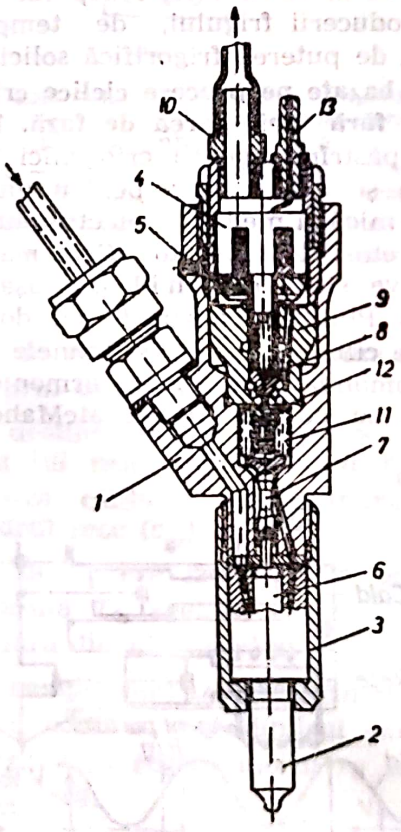


Fig. I.25. Injector electromagnetic pentru motorină: *1* — corp; *2* — pulverizator; *3* — piuliță de legătură; *4* — solenoid; *5* — armătură; *6* — acul pulverizatorului; *7* — tijă; *8* — ac; *9* — piesă; *10* — racord; *11* — arc; *12* — șaibă de reglare; *13* — cablu de alimentare.

Avînd în vedere principiul de formare a amestecului la motoarele diesel, durata de deschidere a **i.** electromagnetice pentru motorină se situează la limita inferioară a duratei de deschidere a injectoarelor electromagnetice pentru benzină (circa 2,5 ms). De regulă, cantitatea maximă de motorină injectată pe ciclu, la regimul nominal de funcționare, trebuie introdusă în cilindru în 1—2 ms. Operația este posibilă în condițiile asigurării unei secțiuni de curgere corespunzătoare pentru orificiile de pulverizare și a unei pre-

Scanned with OKEN Scanner

siuni de injecție suficient de mare pentru pulverizare fină a motorinei.

Înălțimea de ridicare a acului **i.** electromagnetice pentru motoare diesel este de același ordin de mărime cu cea a **i.** electromagnetice pentru motoare cu aprindere prin scînteie (circa 0,15 mm). Înălțimi de ridicare mai mari se realizează la **i.** cu controlul electric al închiderii acului.

I. Pintaux este un **i.** închis cu comandă hidraulică a deschiderii acului. **I.** are prelucrat sub scaunul din pulverizator un orificiu lateral, înclinat, iar partea cilindrică inferioară a acului formează cu orificiul de pulverizare un ajustaj cu joc mic. **I.** Pintaux este conceput pentru realizarea injecției pilot de motorină (Fig. I.26). La ridicarea acului, atît timp cît porțiunea cilindrică din știft care formează ajustajul nu deschide orificiul de pulverizare, motorina se descarcă numai prin orificiul auxiliar, înclinat, jetul de combustibil fiind îndreptat către centrul camerei de ardere. În felul acesta, prin orificiul lateral se produce injecția pilot. Ulterior, cînd acul deschide orificiul de pulverizare, se produce injecția principală. Raportul dintre cantitatea de combustibil injectat prin orificiul lateral și cel principal variază cu regimul de funcționare al motorului. La pornire, acul **i.** se ridică încet; ca atare, cea mai mare parte din motorină este injectată în camera de ardere prin orificiul lateral. La funcționarea în regim de sarcină nominală, acul se ridică repede și cea mai mare parte din motorină este introdusă în camera de ardere prin orificiul de pulverizare principal.

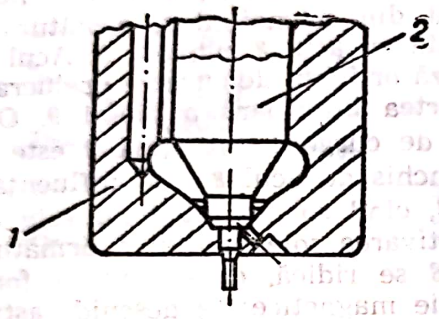


Fig. I.26. Injector „Pintaux“:
1 — pulverizator; *2* — ac.

I. Pintaux asigură pornirea ușoară a motorului; se utilizează pe motoare cu camere de ardere de mare turbulență.

INSTALAȚIE CRIOGENICĂ. Ansamblu de mașini, aparate schimbătoare de căldură, armături și instalații auxiliare, folosit la obținerea și utilizarea temperaturilor sub 120 K. **I.c.** pot fi grupate în funcție de destinație în: **i.c.** de lichefiere, **i.c.** de separare și **i.c.** de refrigerare.

I.c. de lichefiere (criolichefiatoare) sînt utilizate pentru lichefierea sau solidificarea unei substanțe gazoase avînd temperatura apropiată de cea a mediului ambiant.

I.c. de separare (crioseparatoare) sînt utilizate pentru separarea prin condensare, vaporizare, rectificare și absorbție la temperaturi joase a amestecurilor de gaze (aer, gaz natural, gaz de cocserie, gaze industriale etc.).

I.c. de refrigerare (criorefrigeratoare) sînt utilizate pentru realizarea efectului frigorific la unul sau mai multe niveluri de temperatură.

I.c. funcționează pe baza unor procese ciclice, criogenice, realizate de agenții de lucru în cîmpuri magnetice constante sau, pentru niveluri de temperatură foarte scăzute, prin substanțe paramagnetice în cîmpuri magnetice de intensitate variabilă. Procesul ciclic folosit depinde de scopul producerii frigului, de temperatura cerută, de puterea frigorifică solicitată etc.

I.c. bazate pe procese ciclice criogenice uzuale fără schimbarea de fază. Funcționează păstrînd agenții criogenici în stare de gaz și sînt folosite pentru unități de putere mică și medie, în electrotehnică sau în cercetări de laborator. Cele mai reprezentative sînt **i.c.** Philips (așa-numită mașină Philips), construite cu două corpuri de cilindri în care pistoanele au mișcări comandate în regim armonic (Fig. I.27) și **i.c.** cu gaz Gifford-McMahon (Fig.

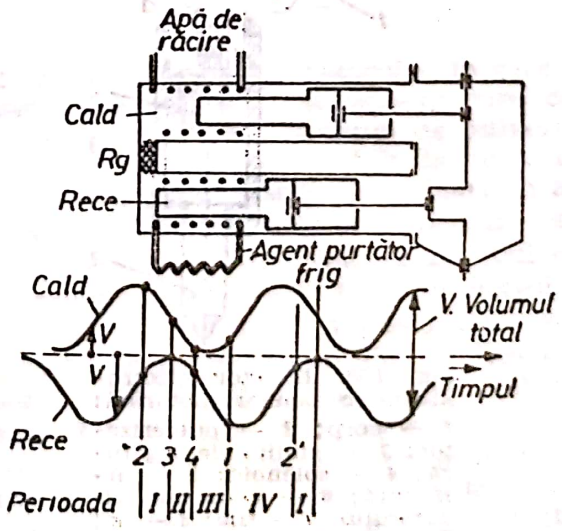


Fig. I.27. Schema instalației criogenice de tip Philips cu gaze, fără schimbare de fază.

I.28), în care gazul este comprimat într-un compresor separat de mașina frigorifică.

Ciclul instalației Philips este de tipul izocor-izoterm, agentul de lucru suferind următoarele transformări:

— o comprimare practic izotermă în cilindrul cald (c_d), la temperatura $T_1=T_c$,

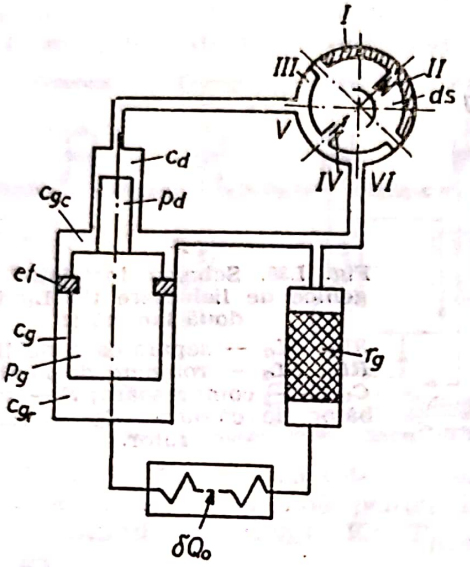


Fig. 1.28. Schema instalației criogenice cu gaze de tip Gifford-McMahon fără schimbare de fază:
I—VI — fazele procesului de producere a frigului; c_d, c_{gc}, c_g — trepte de comprimare; p_d, p_g — pistoane; M_g — regenerator; *ef* — segment de etanșare.

agentul de răcire preluînd căldura dezvoltată prin comprimare;

— o destindere și o răcire izocoră prin curgerea lui prin regeneratorul r_g (care acumulează căldură) din cilindrul cald în cilindrul rece (c_{gr});

— o destindere izotermă la temperatură scăzută T_0, agentul criogenic preluînd căldura din mediul răcit;

— o comprimare izocoră prin refularea la volum constant în cilindrul cald (c_{gc}) și încălzirea în regeneratorul *rg* care cedează căldură.

I.c. de acest tip au puteri de 75 000 — 85 000 kJ/h și realizează temperaturi de 77 K. Pentru temperaturi mai scăzute (pînă la 12 K) se construiesc instalații în două trepte.

I.c. cu gaz Gifford-McMahon are o construcție simplificată față de **i.c.** Philips, prin eliminarea mișcărilor coordonate ale celor două pistoane, dar necesită un „distribuitor" de gaz prin care să se facă legătura între compresor și mașina frigorifică.

I.c. bazate pe procese ciclice cu schimbare de fază a agentului. Funcționarea acestor **i.c.** se caracterizează prin aceea că agentul de lucru în fază gazoasă suferă mai multe transformări de stare, însă, într-un ciclu trece o singură dată prin faza lichidă. La fiecare ciclu de transformări, o parte din agent se pierde din cauză că gazul lichefiat este tocmai produs urmărit și se colectează separat.

Cele mai cunoscute procedee de lichefiere a gazelor sînt: procedeul Linde, procedeul Claude, procedeul Kapitza și „în cascadă".

I.c. realizate pe baza procedeului Linde pot fi cu o laminare, cu două laminări, cu laminare și prerăcire a gazului comprimat. În cazul procedeului cu o laminare (Fig. I.29), gazul comprimat

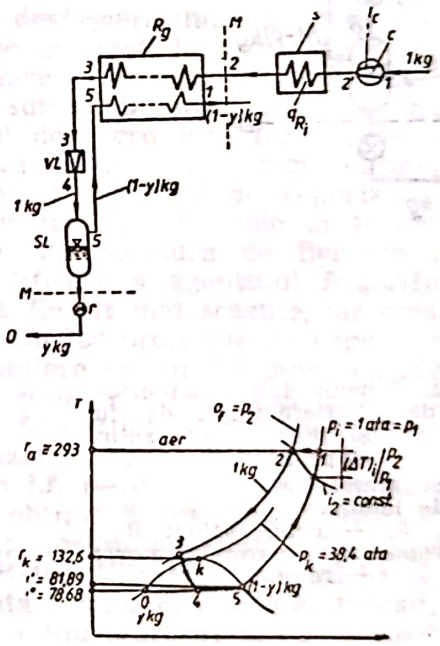


Fig. I.29. Schema instalației criogenice de lichefiere tip Linde, cu o laminare:
C — compresor; *S* — răcitorul final; *SL* — separator de lichid; *VL* — robinet de laminare; R_g — schimbător regenerativ.

și răcit pînă la temperatura ambiantă în răcitorul final R_i curge prin schimbătorul de căldură R_g și este răcit de gazul lichefiat ce curge în contracurent cu el. În continuare, gazul este laminat în ventilul de laminare *VL*, lichefiindu-se, iar în separatorul *SL* are loc separarea fazei lichide (care se corectează) de faza gazoasă (care este folosită ca agent de răcire în

schimbătorul R_g). Procedeul Linde cu două lamirări (Fig. I.30) are și un circuit „închis" de presiune ridicată. Procedeul prin laminare cu prerăcire a gazului comprimat (Fig. I.31) se utilizează în vederea ameliorării proceselor cu laminare și utilizează o mașină frigorifică auxiliară pentru prerăcirea gazului comprimat.

I.c. realizate pe baza procedeului Claude au în afară de aparatele și agregatele menționate la procedeul Linde și un motor detentor sau turbină detentoare (Fig. I.32). Instalația poate funcționa cu trei sau două schimbătoare de căldură în contracurent R_{g1}, R_{g2}, R_{g3}, în care are loc schimbul de căl-

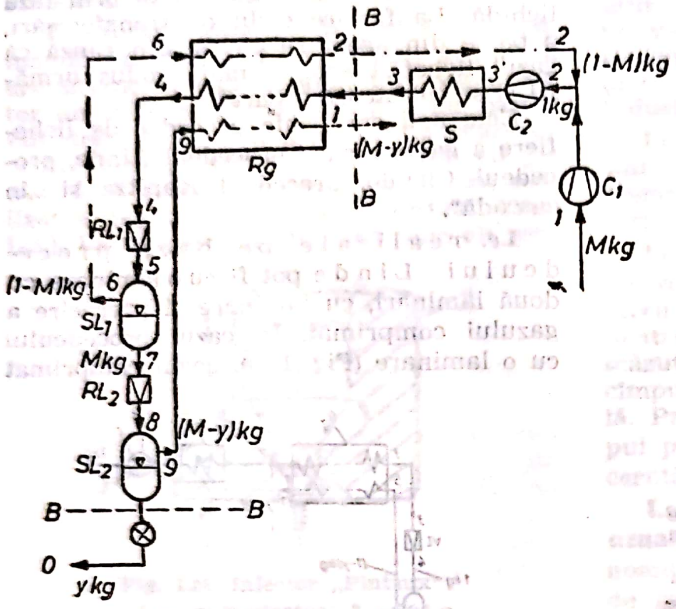


Fig. I.30. Schema instalației criogenice de lichefiere tip Linde, cu două laminări:
SL_1; SL_2 — separatoare de lichid; RL_1, RL_2 — robinete de laminare; C_1, C_2 — compresoare; S — schimbător de căldură; Rg — refrigerator.

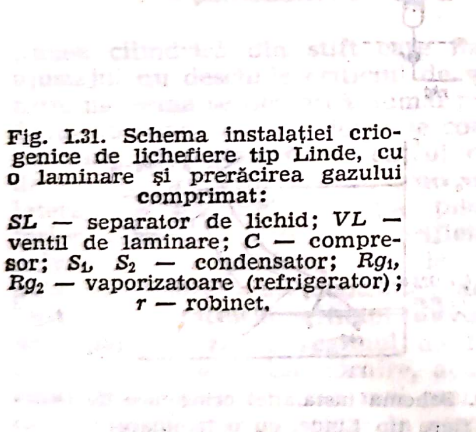


Fig. I.31. Schema instalației criogenice de lichefiere tip Linde, cu o laminare și prerăcirea gazului comprimat:
SL — separator de lichid; VL — ventil de laminare; C — compresor; S_1, S_2 — condensator; Rg_1, Rg_2 — vaporizatoare (refrigerator); r — robinet.

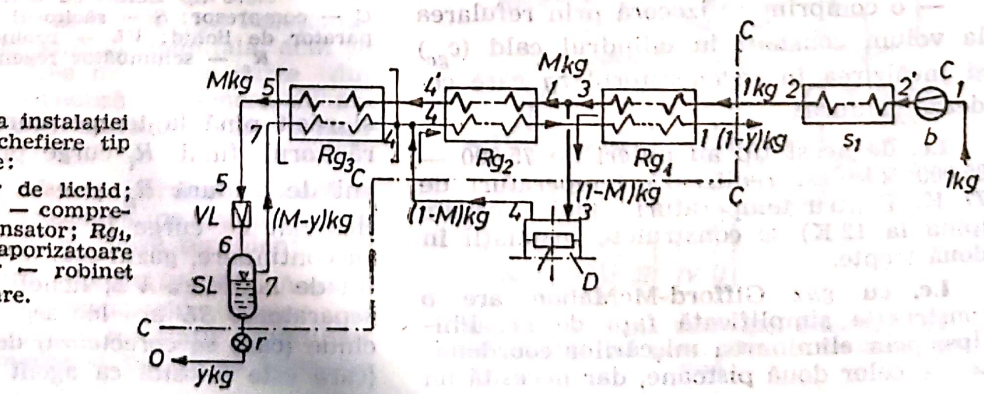


Fig. I.32. Schema instalației criogenice de lichefiere tip Claude:
SL — separator de lichid; D — detentor; C — compresor; S_1 — condensator; Rg_1, Rg_2, Rg_3 — vaporizatoare (refrigerator); r — robinet de reglare.

dură între gazul comprimat, aflat la temperatura ambiantă și amestecul de gaz expandat și vapori reci, supraîncălziți. Expansiunea în detentor este mai eficientă decît laminarea (între aceleași limite de presiune și temperatură).

I.c. ce utilizează procedeul de lichefiere în cascadă a gazelor sînt folosite pentru producerea „frigului industrial" la temperaturi de

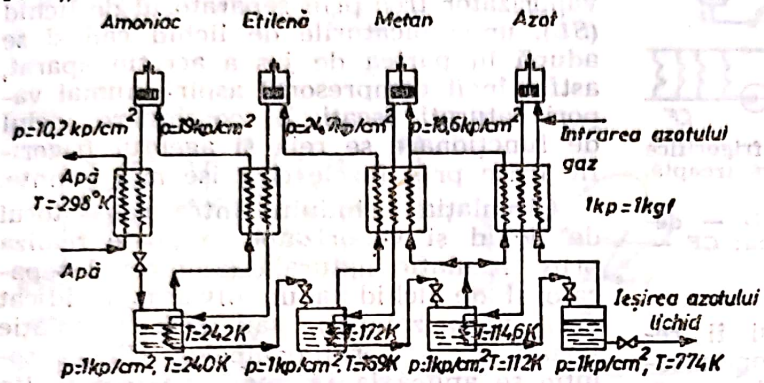


Fig. I.33. Schema instalației criogenice cu cascadă pentru lichefierea azotului.

sub 200 K. În figura I.33 este prezentată schema unui **i.c.** în cascadă pentru lichefierea azotului (T_k=126,1 K; $T_{fierbere}$= =77,4 K).

Procedeul „în cascadă" este avantajos din punct de vedere economic, dar este constructiv mai complex și necesită mai mulți agenți de lucru.

INSTALAȚIE FRIGORIFICĂ. Ansamblul de mașini (agregate), aparate schimbătoare de căldură, armături, robinete de separație, elemente de automatizare și reglare, conducte de legătură și echipamente auxiliare, utilizate pentru scăderea și menținerea temperaturii unui corp sau a unui sistem de corpuri sub temperatura mediului înconjurător. Ciclul de funcționare al **i.f.** este un ciclu termodinamic invers în care agentul frigorific care circulă prin instalație absoarbe căldură de la corpul (spațiul) cu temperatură scăzută și o cedează mediului ambiant, consumînd continuu lucru mecanic.

În funcție de *fenomenul fizic și procedeul folosit pentru obținerea frigului*, **i.f.** se clasifică în:

— **i.f. cu producerea frigului prin procese termodinamice „deschise"** (instalații de răcire prin evaporarea apei, amestecuri frigorifice sau soluții eutectice);

— **i.f. cu producerea frigului prin procese termodinamice ciclice** (cu comprimare mecanică de vapori, cu comprimare mecanică de gaz perfect, cu absorbție de vapori, cu destindere în cîmp turbionar etc.);

— **i.f. cu producerea frigului prin efect electrotermic** (efect Peltier, efect Ettinghaus);

— **i.f. cu producerea frigului prin efect magnetocaloric.**

Din punct de vedere *constructiv*, **i.f.** pot fi: cu comprimare mecanică de vapori, cu comprimare de aer, cu comprimare de vapori cu ejector, cu absorbție, cu destinderea unui gaz într-un cîmp centrifugal, cu răcire termoelectrică, cu absorbție.

I.f. cu comprimare mecanică de vapori. Procesul de lucru al acestor instalații se desfășoară după un ciclu Clausius-Rankine inversat, la care temperatura de vaporizare a *agentului frigorific* (de lucru) se află sub temperatura mediului ambiant. Agentul de lucru este format, de obicei, din așa-numiții „vapori reci", obținuți din substanțe cu căldură de vaporizare mare și cu volum specific mic la temperaturi scăzute. Temperatura de fierbere și cea de solidificare a agentului frigorific trebuie să fie cît mai scăzute, iar presiunile la care au loc procesele de vaporizare sau de lichefiere să nu fie prea scăzute, respectiv prea ridicate. Cei mai utilizați agenți frigorifici sînt: *amoniacul* (NH_3) simbolizat ca agent frigorific R-717 și utilizat în **i.f.** mijlocii și mari (cu el putîndu-se obține temperaturi între 0°C și —65°C); *clorura de metil* (CH_3Cl), simbolizată R-40, utilizată în special în **i.f.** mici, destinată rețelei comerciale; *freonii*, obținuți din hidrocarburi saturate (metan și etan) prin înlocuirea atomilor de hidrogen cu atomi de clor, fluor și uneori brom, utilizați într-o gamă mare de puteri frigorifice, de la frigidere casnice pînă la **i.f.** industriale mari.

I.f. cu comprimare mecanică de vapori se pot realiza cu o treaptă de comprimare, cu două sau cu mai multe trepte de comprimare și în cascadă. Ciclurile frigorifice cu comprimare de vapori în trei sau mai multe trepte se folosesc mai rar pentru scopuri industriale, deoarece, constructiv, **i.f.** se complică și sînt mai greu de automatizat și de exploatat.

I.f. cu o treaptă de comprimare. Schema de principiu și ciclul fri-

gorific al i.f. cu o treaptă de comprimare sînt reprezentate în figura I.34. I.f. este alcătuită dintr-un compresor (c) ce aspiră vaporii saturați uscați de agent frigorific dintr-un rezervor separator de lichid (*SL*),

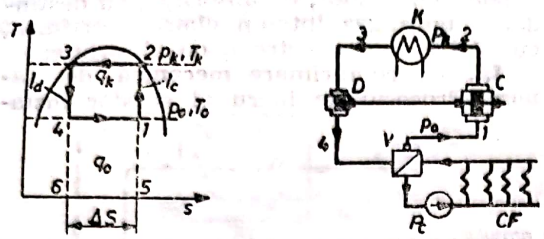


Fig. I.34. Schema și ciclul instalației frigorifice cu comprimare mecanică într-o singură treaptă, cu detentor cu piston:

c — compresor; *K* — condensator; *D* — detentor; *V* — vaporizator; P_c — pompă; *CF* — consumator de frig.

fi comprimă supraîncălzindu-i și îi refulează în condensator (*K*). În condensator, vaporii supraîncălziți se condensează, cedînd căldura unui fluid de răcire (aer sau apă) ce are de regulă temperatura mediului ambiant. Pentru ca procesul de condensare să poată avea loc la această temperatură ridicată, la care agenții de răcire folosiți să fie preluați direct din mediul ambiant, presiunea la care urmează să refuleze compresorul, vaporii de agent frigorific trebuie să corespundă unei stări de saturație la un nivel superior acestei temperaturi. Pentru a putea realiza prin vaporizare temperatura de răcire dorită, lichidul rezultat în urma condensării este destins adiabatic într-un detentor cu pis-

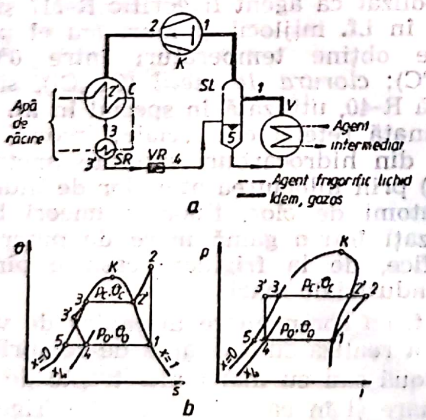


Fig. I.35. Schema și ciclul instalației frigorifice cu comprimare mecanică într-o singură treaptă, cu ventil de laminare:

a — schema de principiu; *b* — reprezentarea procesului în diagrama *T—s* și *lnp—i*.

S_R — subrăcitor; *VR* — ventil de laminare; *SL* — separator de lichid; *K* — condensator; P_0 — pompă; *CF* — consumator de frig; *V* — vaporizator; *C* — compresor.

ton *D* (Fig. I.34) sau izentalpic într-un ventil de laminare *VR* (Fig. I.35) pînă la presiunea de saturație p_0 corespunzătoare acestei temperaturi. Procesul de vaporizare al agentului frigorific, adus în stare de lichid saturat la presiune scăzută, are loc într-un vaporizor (*V*), montat în spațiul în care trebuie realizată temperatura scăzută, pe seama căldurii preluate din mediul răcit. Vaporii umezi rezultați din vaporizator trec prin separatorul de lichid (*SL*), unde picăturile de lichid cad și se adună în partea de jos a acestui aparat, astfel încît compresorul aspiră numai vapori saturați uscați. În continuare, ciclul de funcționare se reia și agentul frigorific trece prin fazele descrise mai înainte.

Circulația lichidului între separatorul de lichid și vaporizator se poate realiza prin circulație naturală (amplasînd separatorul de lichid la un nivel mai ridicat decît vaporizatorul), sau prin circulație forțată, cu ajutorul pompelor. Ultima soluție se aplică la i.f. mari, cu mai multe vaporizatoare, sau în cazul în care consumatorul de frig se găsește la distanțe mari de sala de mașini.

I.f. cu comprimare într-o treaptă, de capacități mici (60—3 000 W), sînt folosite în sectorul casnic și în rețeaua comercială și lucrează cu răcire directă a spațiului frigorific la temperaturi de vaporizare de 0°C—15°C (rareori ajungînd la —25°C). Agenții folosiți sînt: freonul, clorura de metil, bioxidul de sulf. Ele realizează destinderea condensatorului cu ajutorul ventilelor de laminare. Schema instalației este mai simplă, separatorul de lichid sau subrăcitorul putînd lipsi.

I.f. cu comprimare într-o treaptă de capacități mijlocii și mari (mai mari de 3 000 W) sînt folosite pentru obținerea de temperaturi între —10°C și —30°C. Agenții frigorifici utilizați sînt: freonii și amoniacul. Destinderea condensatului se realizează, de asemenea, cu ventile de laminare.

L.f. cu comprimare mecanică de vapori cu două trepte. Se utilizează pentru obținerea de temperaturi scăzute (—30°C . . . —70°C). Vaporii „reci" rezultați în vaporizator sînt comprimați întîi într-o treaptă de joasă presiune, la o presiune intermediară $p_0 < p_i < p_k$ și răciți pînă la temperatura de saturație corespunzătoare acestei presiuni, după care sînt comprimați într-o a doua treaptă pînă la presiunea p_k la care sînt introduși în condensator. Ele pot fi proiectate pentru orice capacitate. Ciclul frigorific se poate realiza în trei variante (Fig. I.36): cu răcire intermediară parțială, cu o sin-

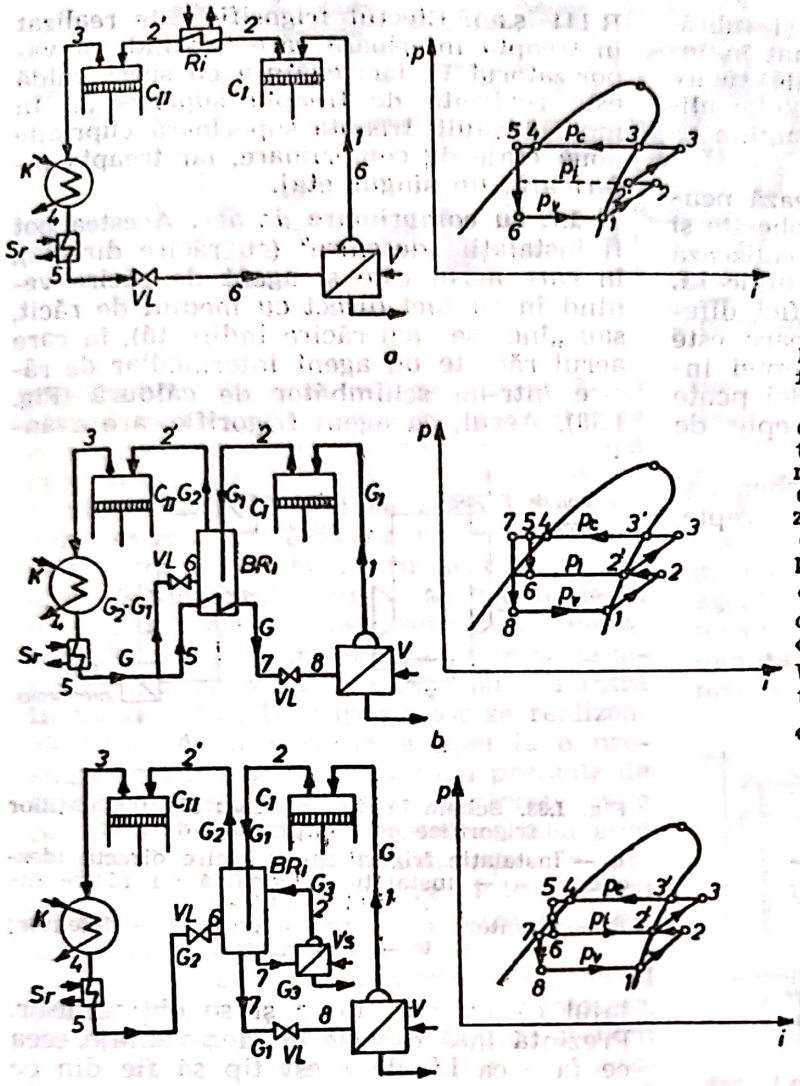


Fig. I.36. Schemele și ciclul instalației frigorifice cu comprimare mecanică în două trepte:
a — instalație frigorifică cu răcire intermediară parțială și o singură laminare; *b* — instalație frigorifică cu două laminări și o treaptă de vaporizare; *c* — instalație frigorifică cu două laminări și două trepte de vaporizare; *V* — vaporizator; C_I — compresor de joasă presiune; C_{II} — compresor de înaltă presiune; *K* — condensator; S_r — subrăcitor; *VL* — ventil de laminare; R_i — răcitor intermediar; B_{r_i} — butelie de răcire intermediară; V_s — vaporizator suplimentar.

gură laminare (Fig. I.36 *a*); cu două laminări și o treaptă de vaporizare (Fig. I.36 *b*); cu două laminări și două trepte de vaporizare (Fig. I.36 *c*).

I.f. cu răcire intermediară parțială și o singură laminare. Realizează între cele două trepte de comprimare o răcire parțială a vaporilor de apă, aceștia rămînînd supraîncălziți. Debitul de vapori comprimați este același în ambele compresoare; din cauza temperaturii ridicate a vaporilor în compresorul de înaltă presiune nu se pot obține temperaturi mai mici de —40°C la **i.f.** cu freon.

I.f. cu două laminări și o treaptă de vaporizare. Este prevăzută cu o butelie de răcire intermediară BR_i ce asigură răcirea vaporilor între cele două trepte de comprimare prin amestecare cu o parte din agentul frigorific condensat și subrăcit. Pentru aceasta, vaporii comprimați în compresorul de joasă presiune C_I pătrund în butelia de răcire intermediară unde se răcesc pînă la temperatura de saturație, apoi împreună cu vaporii formați în butelia suplimentară sînt aspirați în compresorul de înaltă presiune C_{II}, comprimați și refulați în condensatorul *K*. După condensare și subrăcire, o parte din lichid se injectează în butelia de răcire prin intermediul unui ventil de laminare, iar cealaltă parte se subrăcește în serpentina montată în butelia de răcire. În continuare, această parte se laminează și este trimisă în vaporizatorul *V*, unde se vaporizează la temperatură scăzută, absorbind căldura respectivă de la un agent frigorific intermediar.

I.f. cu două laminări și două trepte de vaporizare. Se utilizează în cazul în care există doi consumatori de frig la niveluri termice diferite. Ea se deosebește de cea anterioară

prin aceea că, după condensare și subrăcire, agentul frigorific este laminat în întregime și injectat în butelia de răcire intermediară, iar lichidul din butelie alimentează și un vaporizator suplimentar V_s.

I.f. în cascadă se utilizează pentru obținerea unor temperaturi coborîte și foarte coborîte (—120°C) și se realizează din cuplarea în trepte a mai multor **i.f.** ce funcționează cu agenți frigorifici diferiți. Vaporizatorul treptei superioare este în același timp condensatorul treptei inferioare. Fiecare treaptă a cascadei poate fi o **i.f.** cu una sau mai multe trepte de comprimare.

În figura I.37 este prezentată schema și ciclu unei **i.f.** în cascadă în două trepte.

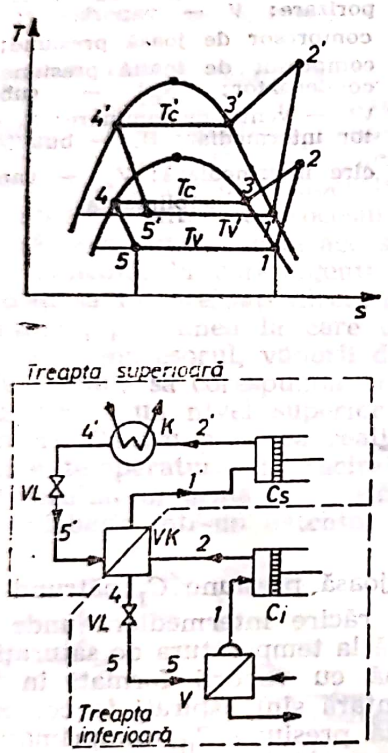


Fig. I.37. Schema de principiu și ciclul instalației frigorifice în cascadă cu două trepte:
C_i — compresorul treptei inferioare; C_s — compresorul treptei superioare; *K* — condensator; *VL* — ventil de laminare; *VK* — vaporizator-condensator; *V* — vaporizator.

Treapta inferioară a cascadei funcționează cu agenți frigorifici cu temperatura de vaporizare foarte scăzută la presiunea atmosferică (R 13, R 14, R 23, etanol, etilenă ș.a.), iar treapta superioară, cu agenți frigorifici obișnuiți (amoniac, R 12, R 22, R 141 ș.a.). Efectul frigorific este realizat în treapta inferioară care cuprinde și vaporizatorul *V*, iar legătura cu sursa caldă este realizată de treapta superioară. În mod obișnuit, treapta superioară cuprinde două etaje de comprimare, iar treapta inferioară, un singur etaj.

I.f. cu comprimare de aer. Acestea pot fi instalații „deschise" (cu răcire directă), în care aerul este și agent de răcire venind în contact direct cu mediul de răcit, sau „închise" (cu răcire indirectă), în care aerul răcește un agent intermediar de răcire într-un schimbător de căldură (Fig. I.38). Aerul, ca agent frigorific, are avantajul că nu este toxic și se obține ușor. Prezintă însă o serie de dezavantaje, ceea ce face ca **i.f.** de acest tip să fie din ce în ce mai rar folosite (valori coborîte ale eficienței frigorifice, debite mari de aer datorită căldurii specifice coborîte, dimensiuni mari ale schimbătoarelor de căldură, depunere de zăpadă în instalații ca urmare a umidității aerului ș.a.).

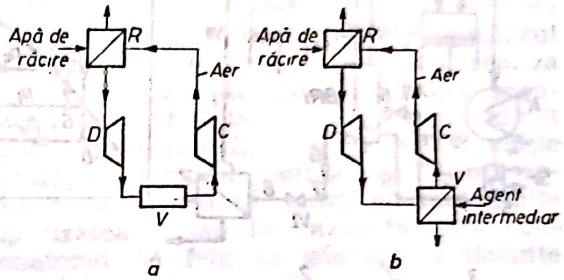


Fig. I.38. Schemele de principiu ale instalațiilor frigorifice cu comprimare de aer:
a — instalație frigorifică cu răcire directă (deschisă); *b* — instalație frigorifică cu răcire indirectă (închisă).
R — răcitor; *C* — compresor; *D* — detentor; *V* — vaporizator.

I.f. cu comprimare de vapori cu ejector. Aceste instalații folosesc un agent motor, respectiv vaporii unui fluid ce se destinde într-un ejector, pentru antrenarea vaporilor reci, produși în vaporizatorul instalației. Dintre agenții de lucru folosiți, cei care s-au impus au fost vaporii de apă, ei putînd fi procurați din diferite circuite, fără a fi produși în mod special pentru **i.f.** Schema de principiu a **i.f.** cu ejecție este reprezentată în figura I.39. Ejectorul *E* realizează comprimarea vaporilor de apă reci, aspirați din vaporizatorul *V*, folosind în acest scop aburul furnizat de un generator (cazan sau priză de abur dintr-un circuit cu presiune ridicată). Aburul se destinde în ajutajul ejectorului, capătă viteze mari și creează în camera de amestec a acestuia o depresiune ce permite aspirarea vaporilor reci din

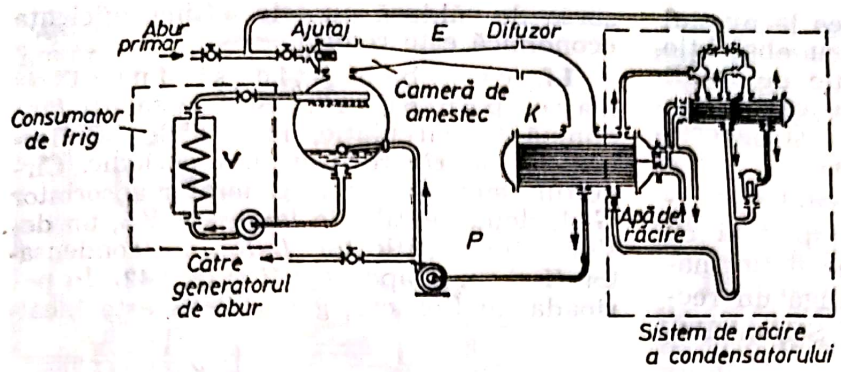


Fig. I.39. Schema instalației frigorifice cu ejecție cu abur:
E — ejector; *V* — vaporizator; *K* — condensator; *P* — pompă de circulație.

vaporizator. Vaporii reci se amestecă cu aburul destins, iar amestecul format este comprimat în difuzorul ejectorului, după care intră în condensator, unde are loc condensarea lui. Căldura latentă de condensare este preluată de mediul ambiant prin intermediul apei sau aerului de răcire. Condensatul rezultat se distribuie în două părți: o parte este retrimisă generatorului de abur, iar cealaltă parte se laminează într-un ventil de laminare și intră în vaporizator. În vaporizator se realizează vaporizarea parțială a apei la o presiune scăzută, pe baza căldurii preluate de la agentul intermediar ce se răcește, care poate fi aerul și apa. Pentru răcirea apei se folosește așa-numita instalație „în circuit deschis". În vederea intensificării schimbului de căldură se realizează o recirculare a apei în vaporizator.

I.f. cu ejector se utilizează în special pentru condiționarea aerului. Se folosesc, de asemenea, în industria chimică (pentru cristalizarea în vid a sărurilor din soluțiile lichide) și în industria alimentară (pentru prepararea apei reci sau conservarea sucurilor de fructe și legume),

I.f. cu absorbție. Principiul de funcționare al **i.f.** cu absorbție se bazează pe afinitatea pe care o au unele substanțe lichide față de vaporii altor substanțe, folosite ca agent frigorific. Ciclul de funcționare este tot un ciclu termodinamic inversat, compresia agentului frigorific realizîndu-se pe cale termochimică, prin utilizarea unui amestec binar de două substanțe complet miscibile între ele cu temperaturi de fierbere diferite la aceeași presiune. Din cele două substanțe, una constituie agentul frigorific ce fierbe la temperatură scăzută, iar cealaltă, absorbantul. Procesul de absorbție este însoțit de o degajare de căldură care trebuie îndepărtată din instalație pentru a nu frîna absorbția, ea fiind mai intensă la temperaturi mai coborîte. Amestecurile binare cele mai folosite în **i.f.** cu absorbție sînt: apă-amoniac (raportul volumic de dizolvare la 0°C fiind de 1/1148); bromură de litiu-apă; freon 22-dibutilftalat; freon 22-dimetiletraetilenglicol. **I.f.** cu absorbție pot fi: cu funcționare continuă și cu funcționare periodică.

I.f. cu absorbție și funcționare continuă este compusă, în principiu, dintr-un vaporizator în care agentul frigorific vaporizează la un nivel termic coborît, absorbind căldura q_0 din incinta răcită, sau de la un agent intermediar (Fig. I.40). Vaporii formați pătrund

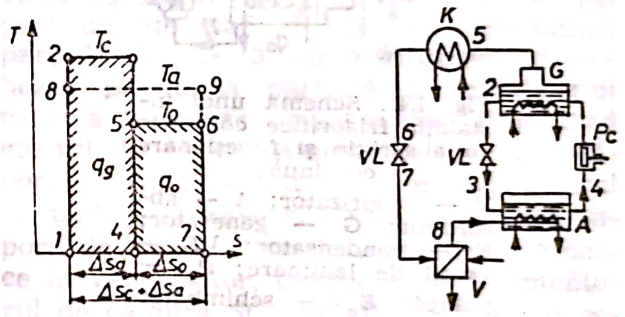


Fig. I.40. Schema instalației frigorifice simple cu absorbție și funcționare continuă:
V — vaporizator; *A* — absorbitor; *G* — generator; *K* — condensator; *VL* — ventil de laminare; *P* — pompă.

într-un absorbitor, unde se dizolvă în soluție de slabă concentrație agent frigorific-dizolvant. În absorbitor, se dezvoltă o cantitate de căldură q_a care se evacuează cu apa de răcire. Soluția concentrată ce se formează este vehiculată cu o pompă, la o presiune ridicată p_c, spre un generator, unde prin încălzire, vaporii de agent frigorific din soluția concentrată vaporizează, soluția diluîndu-se. Vaporii formați sînt condensați într-un condensator, cedînd cantitatea de căldură q_k unui agent de răcire (aer sau apă). Condensatul format este laminat cu ajutorul unui ventil de laminare și reintrodus în vaporizatorul instalației.

Soluția diluată se reîntoarce din generator în absorbitor printr-un ventil de la-

minare care îi reduce presiunea la nivelul celei din vaporizator. În **i.f.** cu absorbție se realizează o dublă circulație de fluid: una a agentului frigorific și cealaltă a soluției binare între absorbitor și generator.

Pentru îmbunătățirea eficienței frigorifice, **i.f.** cu absorbție este completată cu un schimbător de căldură și un deflegmator, iar generatorului i se adaugă un rectificator de vapori (Fig. I.41). Schimbătorul se amplasează între absorbitor și generator, asigurînd preîncălzirea soluției concentrate cu ajutorul soluției diluate care circulă spre absorbitor, iar rectificatorul se instalează după generator, de multe ori chiar în generator, pentru separarea vaporilor de absorbant (ce ar risca să se solidifice, dacă ar pătrunde în ventilul de laminare și vaporizator) de vaporii de agent frigorific. În deflegmator, se realizează condensarea vaporilor de absorbant (folosind pentru răcire apa din returul absorbitorului sau soluție concentrată rece). Pentru aceste îmbunătățiri consumurile de căldură și de apă de răcire scad, iar eficiența crește pînă la $\varepsilon = 0{,}636$. Domeniul curent de folosire al **i.f.** industriale cu absorbție este între —10 și —40°C. Prezintă avantajul unei funcționări lipsite de zgomot și vibrații, dar cînd

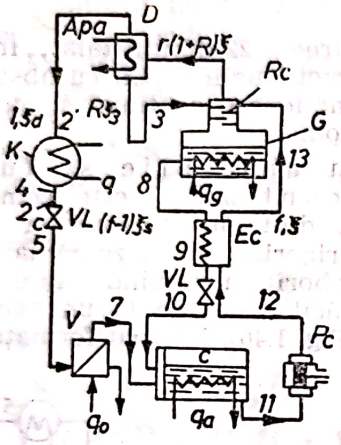


Fig. I.41. Schema unei instalații frigorifice complete cu absorbție și funcționare continuă:
V — vaporizator; *A* — absorbitor; *G* — generator; *K* — condensator; *VL* — ventil de laminare; P_c — pompă; E_c — schimbător de căldură (economizor); *D* — deflegmator; R_c — rectificator.

sursa de căldură nu este ieftină, eficiența economică este redusă.

I.f. cu absorbție și funcționare periodică. Sînt instalații fără pompă de circulație, intervalele de fierbere și de răcire alternînd periodic. Circuitul cuprinde un generator-absorbitor *G-A*, două ventile de laminare *VL*, un deflegmator-rectificator *D-Rc* un condensator *K* și un evaporator *V* (Fig. I.42). În perioada de fierbere, generatorul este încălzit și degajă vapori care trec prin ventilul VL_1 în rectificatorul *Rc*. Vaporii de agent frigorific (amoniac) se lichefiază în condensatorul *K*, iar amoniacul lichid se adună în vaporizatorul *V*. În perioada de răcire generatorul devine absorbitor și este răcit cu apă, în timp ce condensatorul nu mai este răcit. Amoniacul din vaporizatorul *V* se evaporă, iar vaporii trec, prin ventilul de laminare VL_2, în absorbitor. În funcție de durata perioadelor de fierbere și răcire, se reglează după nevoi. Eficiența frigorifică este scăzută, din cauza pierderilor din răcire și încălzire a soluției din generatorul-absorbitor. Prin cuplarea a două mașini de acest fel cu perioadele de lucru decalate, se poate realiza o mașină cu producere continuă a frigului.

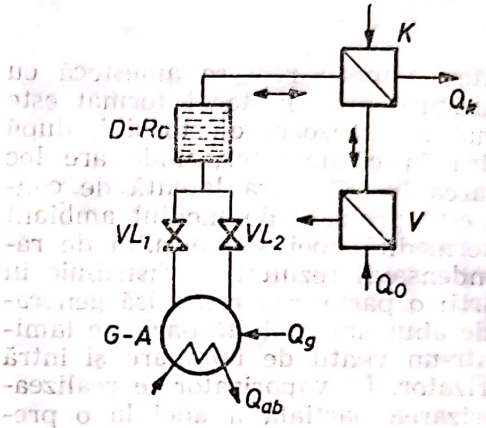


Fig. 1.42. Schema instalației frigorifice cu absorbție și funcționare periodică.

I.f. cu absorbția apei în bromură de litiu. Folosesc apa ca agent frigorific și o soluție de bromură de litiu ca absorbant. Principiul de funcționare este asemănător **i.f.** care utilizează absorbția amoniacului în apă. Folosirea apei ca agent frigorific face ca temperaturile de răcire realizate de **i.f.**, deși procesele au loc în vid înaintat, să nu coboare sub 5—7°C. **I.f.** se utilizează, în special, pentru instalațiile de condiționare a aerului în spații tehnologice sau de locuit și

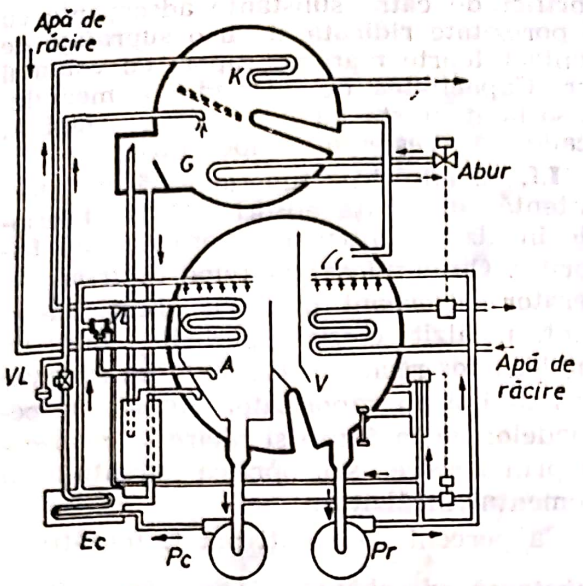


Fig. 1.43. Schema unei instalaţii frigorifice cu absorbţia apei în soluţie Br—Li, tip Carrier:
G — generator; *K* — condensator; *V* — vaporizator; *Ec* — economizor; *VL* — ventil de laminare; P_c — pompă de circulaţie; P_r — pompă de recirculaţie.

pentru răcirea apei la temperaturi de pînă la 5°C, în diferite procese tehnologice.

Cele mai răspîndite tipuri constructive sînt cele realizate de firmele americane Carrier şi Trane. În figura I.43 este prezentată schema constructivă a instalaţiei cu bromură de litiu-apă tip Carrier, alcătuită din două recipiente: unul superior (de presiune ridicată) ce conţine fierbătorul şi condensatorul şi celălalt inferior (de presiune scăzută) în care se află absorbitorul şi vaporizatorul.

Spre deosebire de i.f. cu amoniac şi apă, instalaţia nu are rectificator şi deflegmator, vaporii de apă (agent frigorific) produşi în fierbător fiind supraîncălziţi (deci, practic puri).

Vaporii rezultaţi din generator sînt trimişi în condensator, apoi condensatul obţinut este laminat printr-un ventil şi trimis în vaporizator. În vaporizator are loc vaporizarea pe baza căldurii absorbite de la apa ce trebuie răcită. Vaporii formaţi se absorb în soluţia de bromură de litiu. Soluţia în absorbitor şi în vaporizator este recirculată cu pompe speciale.

I.f. cu absorbţie-difuzie. Este o instalaţie la care circulaţia fluidelor se realizează prin termosifon, prin echilibrarea presiunii din circuit, prin difuzia vaporilor agentului frigorific (amoniac şi apă) într-un gaz inert (hidrogen). În figura I.44 este prezentată schema unei astfel de instalaţii. În generatorul *G* soluţia hidroamoniacală este încălzită de elementul *I*, iar vaporii produşi (amoniac şi apă) la circa 15 bar trec prin separatorul-rectificator *S-R*, unde vaporii de apă condensează şi se scurg înapoi. Vaporii de amoniac condensează în condensatorul *K*, de unde se scurg prin gravitaţie în partea de sus a vaporizatorului *V*. În partea de jos a vaporizatorului intră un amestec de vapori de amoniac şi hidrogen. Presiunea parţială de 12—13 bar a hidrogenului coboară presiunea parţială a amoniacului care la 2—3 bar vaporizează, producînd efectul de răcire. Amestecul hidrogen-vapori de amoniac pătrunde în absorbitorul *A*, unde apa absoarbe selectiv numai vaporii de amoniac, iar hidrogenul se întoarce în vaporizator, trecînd prin schimbătorul de căldură SC_1. Soluţia săracă din generator, a cărei densitate creşte prin degajarea amoniacului, curge prin gravitaţie

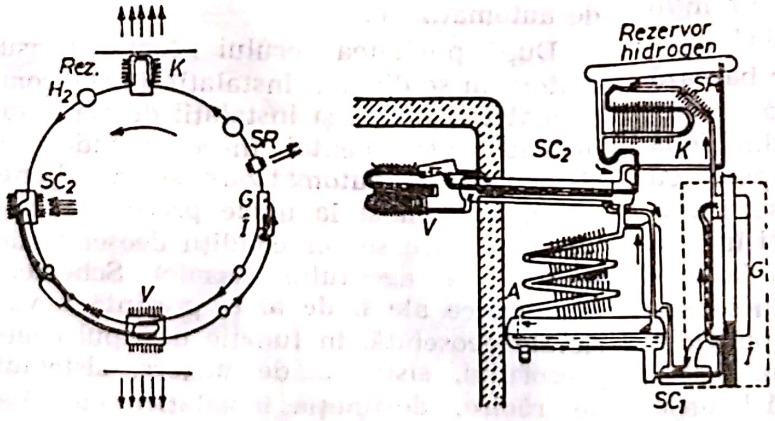


Fig. I.44. Schema unei instalaţii frigorifice cu absorbţie-difuzie:
I — încălzitor; *SR* — separator-rectificator; *K* — condensator; *V* — vaporizator; SC_1, SC_2 — schimbătoare de căldură; *G* — generator.

şi ajunge în partea de sus a absorbantului, unde dizolvă vaporii de amoniac pe care îi întîlneşte şi se întoarce îmbogăţită în generator. Soluţia bogată, răcită, curge prin schimbătorul de căldură SC_2 în contracurent cu soluţia săracă pe care o răceşte înainte de intrarea în absorbitor.

Scanned with OKEN Scanner

Circulația în **i.f.** este continuă, ca urmare a diferențelor de înălțime ale aparatelor și diferențelor de densități ale diferitelor stări ale soluției apă-amoniac. Încălzirea instalației se poate realiza cu rezistențe electrice sau cu becuri de gaz. În **i.f.** cu absorbție-difuzie se realizează trei circuite: al agentului frigorific (amoniacul), al soluției și al hidrogenului. Amoniacul circulă prin toate elementele instalației, soluția, între generator și absorbitor, iar hidrogenul, între absorbitor și vaporizator. Domeniul de utilizare al acestor instalații este cel al puterilor frigorifice mici, respectiv al frigiderelor casnice.

I.f. cu destinderea unui gaz într-un cîmp centrifugal. Aceste instalații funcționează cu aer sau alt gaz și se bazează pe *efectul turbionar de răcire Ranque*. Gazul comprimat cu ajutorul unui compresor este introdus tangențial printr-o cameră spiralată (de forma unui ajutaj) într-un tub cilindric. Gazul, avînd o viteză foarte mare la intrarea în tub, suferă un proces gazodinamic complex, în urma căruia o parte din fluid, cu temperatura și presiunea ridicate, curge turbionar la periferia tubului spre o extremitate a acestuia, iar cealaltă parte, cu temperatura și presiunea scăzute, curge de-a lungul axei tubului spre cealaltă extremitate, formînd un jet rece, în sens contrar primului. Ca urmare, la unul din capete se poate obține gaz cald, iar la celălalt, gaz rece.

I.f. de acest tip au consumuri energetice ridicate și sînt utilizate pentru răciri de scurtă durată. Se pot realiza diferențe de temperatură de circa 90°C cu aer comprimat și 11 bar, cu un debit de 97 m^3/h și o temperatură la intrare de 20°C.

I.f. cu răcire termoelectrică. Se bazează pe efectul Peltier ce se manifestă în circuitul unui termocuplu, format din două conductoare diferite, lipite la capete cu ajutorul a două plăci, în care se introduce un curent electric continuu și în care la o lipitură apare o zonă rece și la cealaltă, o zonă caldă. Prin inversarea sensului curentului, se inversează și punctele calde și reci. Temperaturile minime realizate pînă în prezent cu o singură baterie de conductoare sînt de circa —30°C. Temperaturi mai coborîte pot fi obținute legînd în serie mai multe baterii. Se utilizează la instalații de mică putere, frigidere casnice, instalații de climatizare mici, microfrigidere ș.a.

I.f. cu adsorbție. Principiul de funcționare se bazează pe adsorbția agenților frigorifici de către substanțe adsorbante cu o porozitate ridicată și cu o suprafață de contact foarte mare în raport cu volumul lor. Capacitatea de adsorbție a mediului adsorbant crește cu creșterea presiunii și scade cu creșterea temperaturii.

I.f. cu adsorbție funcționează cu intermitență, substanța adsorbantă fiind periodic încălzită pentru a elibera agentul frigorific. Circuitul se compune dintr-un generator adsorbant plin cu agent adsorbant, încălzit electric periodic, dintr-un condensator răcit cu aer, dintr-un rezervor de lichid și un vaporizator. Alternanța perioadelor de încălzire și răcire se realizează prin trecerea sau oprirea curentului în elementul încălzitor.

Ca perechi de agenți pot fi folosiți:

Substanță adsorbantă	*Agent frigorific*
Cărbune activ	Amoniac
Cărbune activ	Alcool
Gel de siliciu (SiO_2)	Bioxid de sulf (SO_2)

Gelul de siliciu adsoarbe bioxidul de sulf în proporție de 40%, un gram de gel cu pori de circa 5 μm, avînd o suprafață de contact de circa 450 m^2.

I.f. cu adsorbție s-au folosit pentru dulapuri frigorifice, casnice și vagoane frigorifice cu capacități de 100—4 000 W. În prezent, sînt aproape abandonate.

INSTALAȚIE DE AER COMPRIMAT. Este destinată producerii de aer sub presiune, utilizat în instalații tehnologice și de automatizare.

După puritatea aerului necesar consumatorului se disting: instalații de aer comprimat tehnologic și instalații de aer comprimat instrumental (necesar îndeosebi sistemelor de automatizare și în laboratoare, precum și la unele procese tehnologice în care se cer condiții deosebite de puritate a agentului termic). Schemele tehnologice ale **i. de a. c.** prezintă o varietate deosebită, în funcție de tipul compresorului, sistemul de ungere, sistemul de răcire, destinația instalației etc. La compresoarele cu piston, presiunea aerului este pulsatorie, fapt care impune montarea de rezervoare tampon, atît în vederea uniformizării presiunii la alimentarea consumatorilor, la preluarea debitelor suplimentare date de compresor, cît și la acoperirea suprasarcinilor cerute momentan de consumator. Schema unei **i. de a. c.**

Scanned with OKEN Scanner

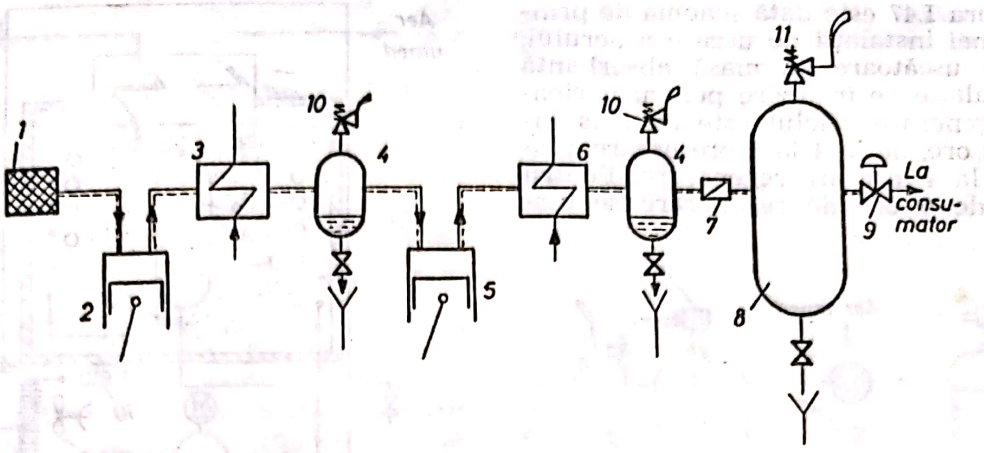


Fig. I.45. Schema unei instalații de compresoare cu piston în două trepte (pentru aer tehnologic):
1 — filtru de aer; *2* — treapta I-a a compresorului; *3* — răcitor de aer intermediar; (cu apă); *4* — separatoare de ulei (picături); *5* — treapta a II-a a compresorului; *6* — răcitor final de aer (cu apă); *7* — clapetă de reținere; *8* — rezervor tampon; *9* — robinet de reglaj; *10, 11* — supape de siguranță; ..... aer; —— — apă de răcire.

tehnologic, cu compresoare cu piston, este dată în figura I.45. Se constată că, în acest caz, instalația de compresoare este prevăzută și cu sistem de răcire a aerului comprimat, care poate fi cu apă sau cu aer, precum și cu sistem de filtrare și separare a picăturilor de ulei.

La **i. de a. c.** instrumental, puritatea pe care trebuie să o aibă aerul necesită: filtru de impurități mecanice care reține particulele de praf pînă la 1—3 μm; filtru uscător, care este de obicei cu masă de silicagel ce reține umiditatea aerului, compresoare fără ungere (compresoare cu segmenți din teflon), astfel încît să nu pătrundă picături de ulei în aerul instrumental. Filtrele cu silicagel funcționează ciclic, masa absorbantă fiind regenerată fie prin suflare cu aer uscat din rezervoarele tampon, fie prin încălzire, de obicei cu un sistem de rezistențe electrice. În vederea obținerii unei separări cît mai bune a umidității din aer, se face o uscare finală a aerului prin frig, temperatura de rouă putînd să ajungă la —40°C (la această temperatură, presiunea vaporilor de saturație p_s=0,077 mbar, umiditatea absolută corespunzătoare x_s=0,115 g/kg). În figura I.46 este prezentată schema unei instalații de producere a aerului comprimat instrumental.

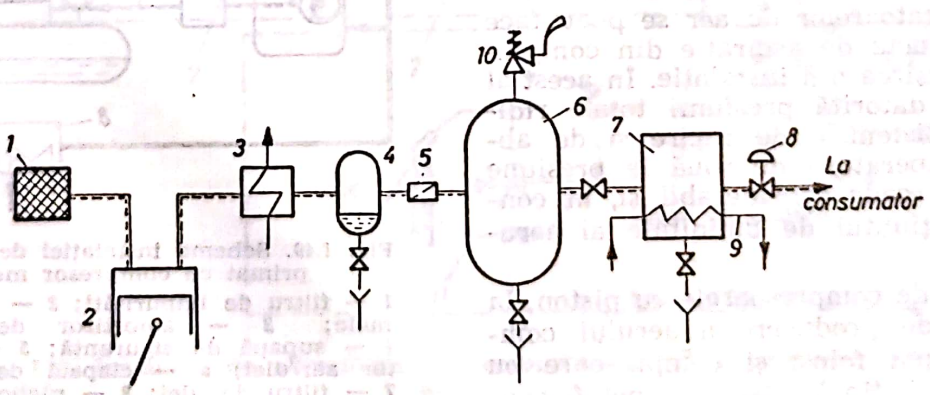


Fig. I.46. Schema unei instalații (de compresoare) pentru producerea aerului comprimat instrumental:
1 — filtru uscat; *2* — compresor cu piston fără ungere; *3* — răcitor final cu apă; *4* — separator de picături; *5* — clapetă de reținere; *6* — rezervor tampon; *7* — baterie de uscare; *8* — robinet de reglaj; *9* — sistem de încălzire (răcire) al uscătorului; ..... aer; —— apă de răcire.

Scanned with OKEN Scanner

În figura I.47 este dată schema de principiu a unei instalații de uscare a aerului, dotată cu uscătoare cu masă absorbantă și cu instalație de încălzire pentru perioada de regenerare. Ciclul este cuprins între 8 și 12 ore, de la 4 la 6 ore uscare, respectiv de la 4 la 6 ore regenerare. Pentru un ciclu de 6 ore de regenerare se dis-

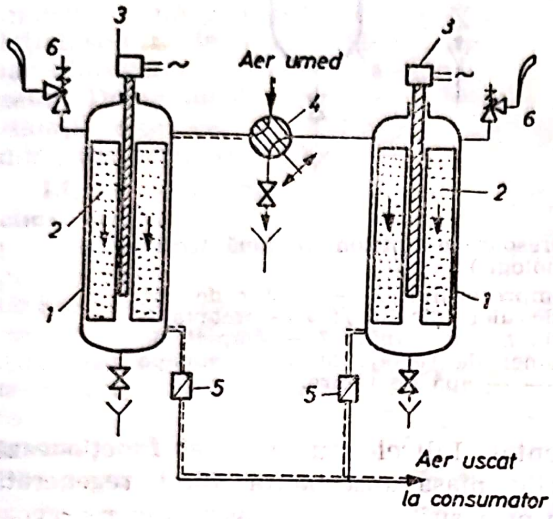


Fig. I.47. Schema unei baterii de uscare prin adsorbție:
1 — uscătoare; 2 — masa absorbită de silicagel; 3 — rezistențe electrice de încălzire; 4 — distribuitor de aer cu 4 căi; 5 — clapete de reținere; 6 — supape de siguranță.

ting următoarele perioade: perioada de încălzire 4 h; perioada de evacuare a umidității 1/2 h; perioada de răcire naturală 1 h și 15 min.; perioada de presurizare 15 min.

În figura I.48 este arătată schema unui uscător de aer prin frig, cu masă din pulbere de aluminiu, necesară transferului de căldură pentru a menține temperatura constantă în procesul de uscare. Amplasarea uscătoarelor de aer se poate face fie pe conducta de aspirație din compresor, fie la ieșirea din instalație. În acest al doilea caz, datorită presiunii totale ridicate, prin sistemele de răcire și de absorbție, temperatura de rouă la presiune atmosferică scade considerabil și, în consecință, conținutul de umiditate al aerului.

În afară de compresoarele cu piston, la instalațiile de producere a aerului comprimat se pot folosi și compresoare cu melc sau lobi (tip Roots), care pot fi construite atît în varianta uscată (fără ungere), cît și în varianta cu ungere. Avantajul acestor construcții constă în aceea că pomparea aerului se face continuu, deci compresorul nu mai are supape, importan-

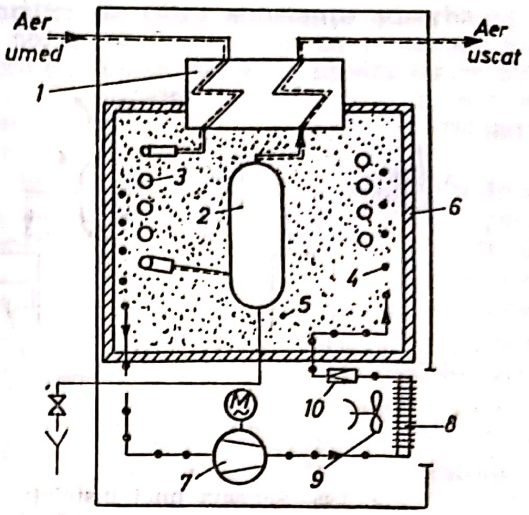


Fig. I.48. Schema unui uscător de aer cu frig:
1 — răcitor aer-aer; 2 — separator de umiditate; 3 — serpentină de aer; 4 — serpentină de răcire; (vaporizatorul instalației frigorifice); 5 — masă de pulbere de aluminiu; 6 — izolație termică; 7 — compresor frigorific; 8 — condensator frigorific răcit cu aer; 9 — ventilator de aer; 10 — ventil de laminare; ═══ aer: —— umiditate separată; —·—·—·— agent frigorific.

ța rezervorului tampon scade considerabil, el putînd fi eliminat printr-un reglaj al debitului compresorului, prin utilizarea unor motoare cu turație variabilă. În figura I.49, este arătată schema unei instalații de aer comprimat cu compresor melc. Se mai folosesc, de asemenea, și compresoare cu excentric (cu lamele culisante) sau compresoare centrifugale.

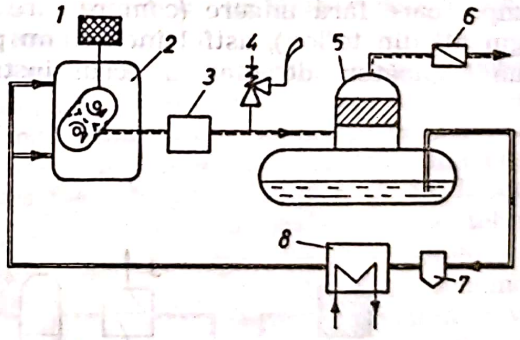


Fig. I.49. Schema instalației de aer comprimat cu compresor melc:
1 — filtru de impurități; 2 — compresor melc; 3 — amortizor de zgomot; 4 — supapă de siguranță; 5 — separator aer/ulei; 6 — clapetă de reținere; 7 — filtru de ulei; 8 — răcitor de ulei; ═══ aer; ═══ ulei de ungere; —— apă de răcire.

INSTALAȚIE DE ALIMENTARE CU APĂ. v. Rețele de alimentare cu apă.

INSTALAȚIE DE ALIMENTARE CU COMBUSTIBIL. v. Alimentare cu combustibil

INSTALAȚIE DE ALIMENTARE CU COMBUSTIBIL (pentru centrale termoelectrice). Ansamblu de mașini, aparate și dispozitive, destinat alimentării unor consumatori de energie termică cu combustibil gazos, lichid sau solid. Dintre diversele categorii de consumatori, centralele termoelectrice au instalațiile cele mai complexe de alimentare cu combustibil.

I. de a. cu c. gazos. Gazele folosite drept combustibil sînt gazele naturale (de zăcămînt sau asociate cu produse petroliere) și gazele industriale (de furnal, de cocserie). Gazele naturale sînt aduse la consumator prin conducte speciale de transport și au o presiune ridicată în funcție de debit.

Instalațiile exterioare de combustibil gazos ale consumatorilor se compun dintr-o stație de reducere și reglaj al presiunii pînă la nivelul necesar arzătoarelor, și anume: suprapresiune de 1 000—2 000 mm H_2O la arzătoarele mici și mijlocii sau suprapresiune de 5 000—6 000 mm H_2O la arzătoarele de capacitate mare. În stația de reducere (construită cu una sau două trepte de reglare în serie) se realizează și măsurarea debitului de gaze și separarea umidității.

În figura I.50 este arătată o stație de reglare a gazelor cu două trepte și rețeaua de conducte de alimentare a cazanelor de abur, cu indicarea dispozitivelor de măsură, protecție și blocaj. Totalitatea instalațiilor de alimentare cu gaze trebuie să corespundă normativelor pentru distribuirea și utilizarea gazelor naturale. În principiu, instalațiile nu trebuie să traverseze spații închise, subsoluri și locuri în care datorită acumulării de gaze prin scăpări se pot produce explozii sau incendii. Conductele de legătură între stația de gaze și sala cazanelor, ca și conductele colectoare se preferă să fie exterioare sălii și aeriene.

La unitățile de mare putere este uzual ca fiecare cazan să primească gazul printr-o conductă individuală, colectorul fiind plasat la ieșirea din stația de reglare. În acest fel, perturbațiile de presiune datorită variației de sarcină sau datorită opririi forțate a unui cazan fac mai puțin simțite la cazanele învecinate și stabilitatea sistemului de protecție se mărește. Fiecare cazan este protejat de o vană generală acționată electric (*10*), introdusă în sistemul

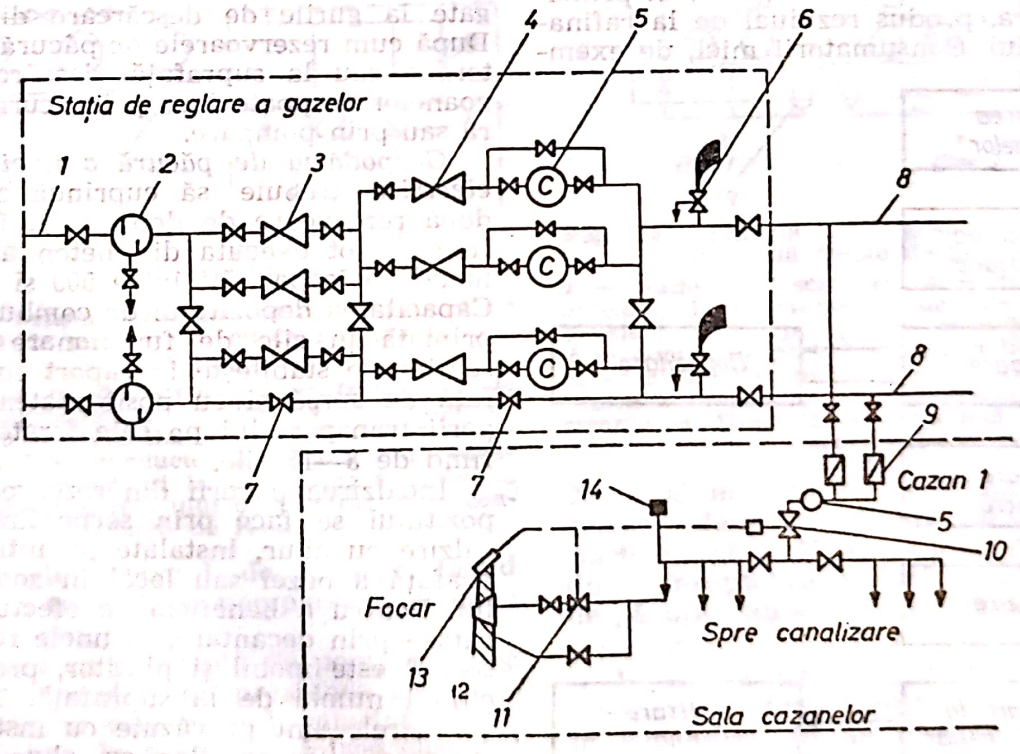


Fig. I.50. Instalație de alimentare cu combustibil gazos a unui cazan de abur:

1 — conductă de transport a gazelor; *2* — filtru separator de picături; *3* — instalație de reducere a presiunii, treapta I (înaltă presiune); *4* — instalație de reducere a presiunii, treapta a II-a (medie presiune); *5* — contoare; *6* — supapă de siguranță; *7* — ventile de ocolire; *8* — colectoare de gaze spre sala cazanelor; *9* — racordul unui cazan, clapetele de blocare la presiune minimă; *10* — vana principală automată; *11* — armături de închidere și reglare la arzător; *12* — dispozitiv de aprindere; *13* — supraveghetor de flacără; *14* — flacără de veghe.

său de protecție și blocaj, precum și o clapetă (9) care închide automat gazul, dacă presiunea lui scăzînd a atins o valoare periculos de mică. Vana generală este blocată în poziția închisă atîta vreme, cît toate armăturile arzătoarelor nu sînt închise. În felul acesta, se evită acumularea accidentală de gaze în focarul cazanului. La pornire, vana generală poate fi blocată printr-un releu de timp și în funcție de pornirea ventilatorului de aer care să asigure durata necesară de funcționare pînă la ventilarea suficientă a drumului de gaze din cazan. La căderea presiunii, la oprirea ventilatorului sau în caz de avarie la cazan, vana generală se închide imediat în mod automat.

Vitezele admise pe conductele de gaze sînt de ordinul 25—32 m/s, fiind limitate de pierderile de presiune. Din această cauză, conductele de alimentare ale cazanului produc un nivel ridicat de zgomot. Pentru atenuarea lui, ca și pentru a evita condensarea umidității din aer pe conducta rece de gaze (răcită de efectul destinderii) conducta principală se izolează fonic și termic.

I. de a. cu c. lichid. Combustibilul lichid folosit de consumatorii mari, de exemplu cazanele de abur, este, în principal, păcura, produs rezidual de la rafinarea țițeiului. Consumatorii mici, de exemplu încălzirea individuală, folosesc de regulă, motorina, combustibil lichid superior păcurii, avînd o schemă de alimentare mai simplă.

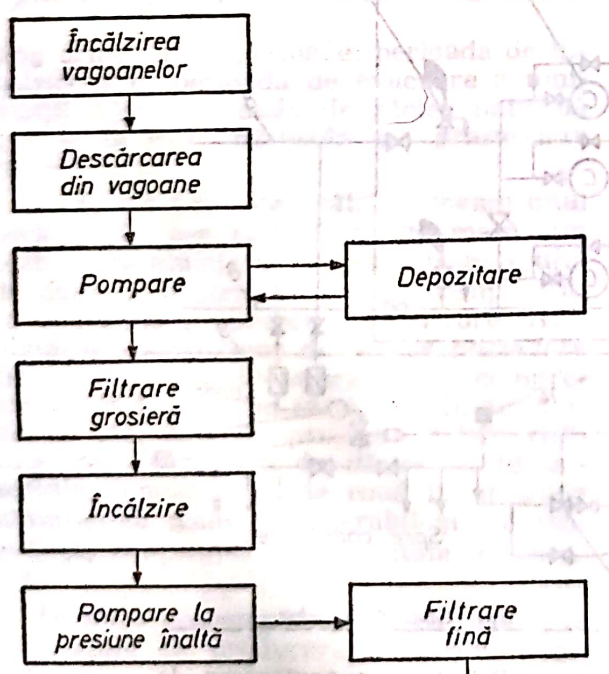


Fig. I.51. Schema de funcțiuni a instalației de alimentare cu combustibil lichid.

Transportul păcurii se poate face direct, prin pompare pe conducte de la rafinării, sau pe cale ferată, în vagoane cisternă cu capacități de 20—50 t.

Funcțiunile gospodăriei de păcură sînt arătate în figura I.51. În cadrul gospodăriei de păcură trebuie efectuate următoarele operațiuni: a) încălzirea prealabilă a păcurii pentru descărcarea ei din vagoane (punctul de congelare la 25—35°C); b) decantarea și filtrarea păcurii pentru a elimina resturile de apă și impuritățile mecanice; decantarea are loc chiar în rezervoarele de stoc, în timp ce filtrarea se face în filtre mecanice grosiere și fine; c) încălzirea păcurii pînă la temperatura de 110—130°C, la care lichidul are vîscozitatea de 2,4—2,6°E, respectiv fluiditatea necesară pentru o bună filtrare și apoi pentru pulverizarea în arzătoare; d) pomparea păcurii pentru a atinge presiunea necesară pulverizării în arzătoare.

Descărcarea păcurii din vagoane se face într-o stație de descărcare. Vagoanele de cale ferată pentru transportul păcurii sînt prevăzute cu serpentine interioare de încălzire care se racordează prin furtunuri flexibile la conductele de abur de la stația de descărcare. Curgerea păcurii din vagoane se face prin furtune flexibile legate la gurile de descărcare din stație. După cum rezervoarele de păcură sînt subterane sau la suprafață, descărcarea vagoanelor se poate face prin scurgere liberă sau prin pompare.

Gospodăria de păcură a unei centrale electrice trebuie să cuprindă cel puțin două rezervoare de depozitare. Rezervoarele se pot executa din beton armat sau metal, cu capacități între 500 și 1 600 m^3. Capacitatea depozitului de combustibil exprimată în zile de funcționare la plină sarcină se stabilește în raport cu distanța față de sursă și cu posibilitatea întreruperii transportului pe cale ferată, aceasta fiind de 3—15 zile.

Încălzirea păcurii din rezervoarele depozitului se face prin serpentine de încălzire cu abur, instalate pe întreaga suprafață a bazei sau local în zona sorbului. Pentru a beneficia de efectul de curățare prin decantare, la unele rezervoare sorbul este mobil și plutitor, preluînd lichidul numai de la suprafață. Toate rezervoarele sînt prevăzute cu instalații de stingere a incendiilor cu abur sau cu spumă.

Pomparea păcurii se face cu pompe cu roți dințate sau pompe centrifuge. Numărul de pompe se alege astfel, încît la avaria unei pompe să se asigure cererea maximă de combustibil. Cînd combustibilul lichid nu este folosit în permanență, se

Scanned with OKEN Scanner

montează suplimentar pompe de presiune scăzută pentru a asigura menținerea circulației păcurii în conducte. Conform normelor de protecție împotriva incendiilor, în stațiile de păcură totalitatea motoarelor electrice și a aparatajului electric al instalațiilor și al corpurilor de iluminat se aleg de tip etanș (antiexploziv). Pentru siguranță motoarele electrice ale pompelor au o sursă dublă de alimentare.

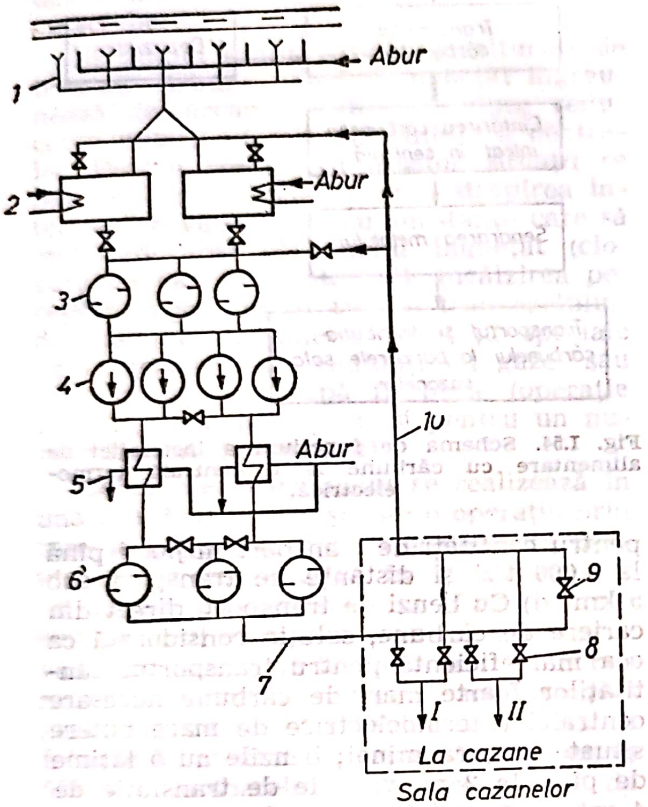


Fig. I.52. Schema unei gospodării de păcură cu o treaptă de pompare și curgere liberă la descărcare:

1 — stație de descărcare; *2* — rezervoare de păcură îngropate; *3* — filtre; *4* — pompe de păcură; *5* — preîncălzitoare de păcură; *6* — filtre fixe; *7* — conducte de păcură spre arzătoare; *8* — racorduri la arzătoare; *9* — ventil de deschidere a returului de păcură; *16* — conductă de retur.

Schemele pentru **i. de a. cu c. lichid** sînt cu o treaptă de pompare și cu două trepte de pompare.

Schema cu o treaptă de pompare (Fig. I.52) se folosește cînd presiunea de injecție a păcurii este redusă, cuprinsă între 20 și 40 bar. În acest caz, întreg circuitul de păcură, inclusiv preîncălzitoarele, se află la presiunea de refulare a pompelor. La această schemă se remarcă următoarele: filtrele sînt dimensionate cu rezervă pentru a permite succesiv curățarea lor; preîncălzitoarele de păcură nu au rezervă; conducta principală de păcură 7 poate fi cu un fir sau cu două în paralel; păcura neconsumată de cazane este recirculată prin conducta de retur *10* și redusă fie prin aspirația pompelor, fie înapoi în rezervoare. La pornire, pentru încălzirea rapidă a circuitului, se face recircularea întregului debit de combustibil.

Distanța între gospodăria de păcură și sala cazanelor măsoară, în mod obișnuit,

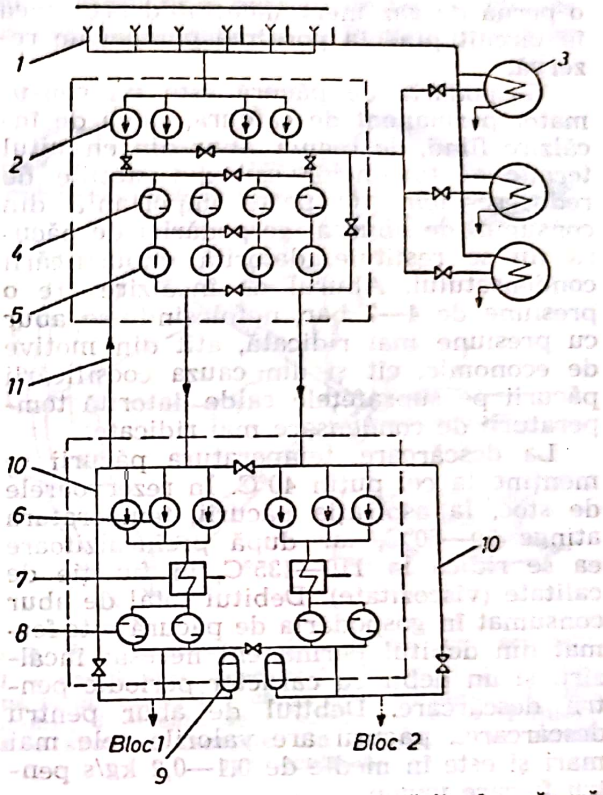


Fig. I.53. Schema unei gospodării de păcură cu două trepte de pompare:

1 — stație de descărcare; *2* — pompe de descărcare; *3* — rezervoare de stoc; *4* — filtru grosier; *5* — pompe de păcură treapta I-a; *6* — pompe de păcură treapta a II-a; *7* — preîncălzitor; *8* — filtre fine; *9* — butelie de menținere a presiunii; *10* — conductă de răcire la treapta a II-a; *11* — conductă de retur la treapta I-a.

200—800 m. Pentru a evita congelarea păcurii, de-a lungul întregului traseu, conductele sînt încălzite cu abur printr-o conductă însoțitoare, izolată în comun cu cea de păcură, sau sub formă de conducte concentrice.

În figura I.53 este arătată schema de pompare în două trepte, aplicată în cazul în care distanța de transport de la depozit la sala cazanelor este mare și cînd presiunea de injecție se mărește peste 40 bar. Această schemă este din ce în ce mai des întrebuințată la marile unități moderne și realizează avantajul că preîncălzitoarele și conductele de transport lucrează la presiune scăzută, deoarece treapta a doua de pompare se plasează

separat în imediata vecinătate a sălii cazanelor. În figură s-a ales un caz de depozit de păcură cu rezervoare exterioare, descărcarea făcîndu-se prin pompare. Pentru a se evita căderile rapide de presiune și stingerea flăcării la oprirea unei pompe din treapta a doua, se prevede în circuit butelia de compensare 9, care introduce deasupra nivelului liber al lichidului o pernă de gaz inert, menținînd presiunea în circuit pînă la pornirea pompei de rezervă.

Gospodăria de păcură este un consumator permanent de căldură, sursa de încălzire fiind, de regulă, abur din circuitul termic al turbinelor sau din stațiile de reducere-răcire. O parte importantă din consumul de abur al gospodăriei de păcură nu se restituie, datorită impurificării condensatului. Aburul de încălzire are o presiune de 4—7 bar, nefolosindu-se abur cu presiune mai ridicată, atît din motive de economie, cît și din cauza cocsificării păcurii pe suprafețele calde datorită temperaturii de condensare mai ridicate.

La descărcare, temperatura păcurii se menține la cel puțin 40°C. În rezervoarele de stoc, la aspirația păcurii, temperatura atinge 50—60°C, iar după preîncălzitoare ea se ridică la 110—135°C, în funcție de calitate (vîscozitate). Debitul total de abur consumat în gospodăria de păcură este format din debitul permanent necesar încălzirii și un debit cu caracter periodic pentru descărcare. Debitul de abur pentru descărcarea păcurii are valorile cele mai mari și este în medie de 0,1—0,2 kg/s pentru fiecare vagon.

Instalații de alimentare cu cărbune. Schema funcțiunilor unei instalații de alimentare cu cărbune este arătată în figura I.54.

Instalațiile exterioare de alimentare cu cărbune depind, în principal, de: consumul orar de cărbune al centralei termoelectrice, distanța dintre sursa de combustibil și centrală, mărimea depozitului, modul de transport al cărbunelui la centrală.

Transportul cărbunelui poate fi realizat în diferite moduri: a) Cu calea ferată normală, în garnituri de 1 000—1 500 t, cu vagoane obișnuite sau autodescărcătoare, cu capacități de 40—60 t pe vagon; acest mod de transport este tehnic posibil pentru orice distanțe și debite de combustibil, fiind limitat numai de considerente economice; b) Cu calea ferată minieră, cu ecartament îngust, cu vagoane de 12—20 t, pentru bazine carbonifere de mică importanță sau cu ecartament supralarg cu vagoane de 100—120 t, pentru traficul local la marile mine și cariere de cărbune; c) Cu funiculare, soluție aplicată numai

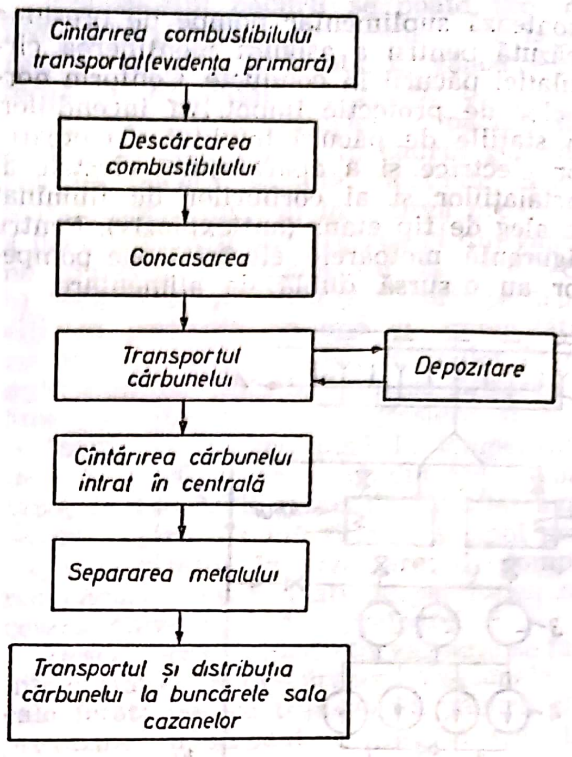


Fig. I.54. Schema de funcțiuni a instalației de alimentare cu cărbune la o centrală termoelectrică.

pentru cantități de transport mijlocii pînă la 4 000 t/zi și distanțe de transport sub 5 km; d) Cu benzi de transport, direct din cariere de cărbune, soluție considerată ca cea mai eficientă pentru transportul cantităților foarte mari de cărbune necesare centralelor termoelectrice de mare putere situate la gura minei; benzile au o lățime de pînă la 2 m, vitezele de translație de 4 m/s și capacități orare de 4 000 t/h cărbune la distanțe de transport de 4—5 km; e) Cu vaporul sau șlepul, soluție de transport avantajoasă pentru cărbunele adus de la mari distanțe la centralele electrice situate lîngă surse de răcire, care sînt totodată și căi navigabile; transportul pe apă este aplicabil, în special, pentru cantități mari de cărbune de import.

Cîntărirea cărbunelui reprezintă evidența primară a combustibilului introdus în centrala electrică și se face prin cîntărirea vagoanelor de cale ferată cu ajutorul basculelor pe care se opresc succesiv vagoanele garniturilor și prin cîntărirea cărbunelui pe banda de transport care intră în instalație, cu ajutorul unor cîntare de bandă care măsoară și integrează în timp debitul de cărbune direct în timpul funcționării benzii.

Descărcarea cărbunelui din mijloacele de transport se face în exclusivitate cu mijloace mecanizate. La transportul căr-

Scanned with OKEN Scanner

bunelui pe calea ferată, mijloacele de descărcare pot fi: din vagoane cu fund plan cu dispozitive de preluare cu macara și cupă, cu dispozitive cu descărcător cu șurub melc, prin culbutare în jurul axului longitudinal al vagonului sau prin înclinare frontală a vagonului, iar din vagoane autodescărcătoare în stații de descărcare lungi, cu buncăre subterane adînci sau pe estacade supraterane cu șanțuri de descărcare cu mașini cu cupe rotative sau cu screpere.

În timpul iernii, sosirea garniturilor de tren cu cărbune umed și înghețat îngreunează descărcarea, putînd produce reducerea puterii efectiv disponibile a centralei. Pentru rezolvarea acestor situații se pot lua următoarele măsuri: stropirea interioară a vagoanelor cu substanțe care să evite aderarea cărbunelui înghețat (clorură de var sau motorină); încălzirea pereților vagonului în timpul transportului; dezghețarea vagoanelor în stații speciale prin încălzirea cu radianți cu gaze sau prin stropirea cu apă fierbinte (operație făcută numai accidental și pentru un număr limitat de vagoane).

Concasarea cărbunelui se realizează în una sau două trepte și este o operație prin care se asigură o granulație necesară pentru cărbunele ce intră în sala cazanelor de maximum 30—40 mm. Concasoarele sînt de tipul cu ciocane sau fălci și se prevăd cîte două pînă la patru unități în paralel. Consumul de putere al acestor agregate este de 0,5—1,2 kWh/t, iar unitățile folosite în prezent au capacități care ating 500 t/h. Motoarele concasoarelor sînt de tipul asincron cu rotorul în scurtcircuit de construcție capsulată (antiex).

Depozitarea cărbunelui ridică probleme tehnice de exploatare datorită maselor mari de material care se manipulează mecanizat și datorită fenomenului de autoaprindere care se poate produce în cărbunii stocați. Mărimea depozitului este legată de distanța dintre sursa de cărbune și consumatori, de durata posibilă a întreruperii transportului și de regimul de lucru pe care îl au cele două unități (sursa și consumatorul de cărbune), corespunzînd funcționării centralei la sarcina nominală între 6 și 20 zile. La centralele electrice de mare putere situate la gura minei nu se construiesc depozite intermediare de cărbune.

Un exemplu de instalație cu depozit cu screpere este arătat în figura I.55, în care cărbunele este ridicat cu banda *1* la turnul fix al screperului *2* și este descărcat în centrul depozitului. Întinderea cărbunelui în depozit se face cu ajutorul cupei screperului *3*, montată în poziția *A*. Cupa este tîrîtă în direcție radială pe depozit cu ajutorul cablului *4*, întins între turnul fix și un turn mobil *5*, care circulă pe calea ferată *6* și este prevăzut cu contragreutăți puternice. Mișcarea cablului se face cu ajutorul unei perechi de trolii acționate electric, notate cu 7. Pentru preluarea

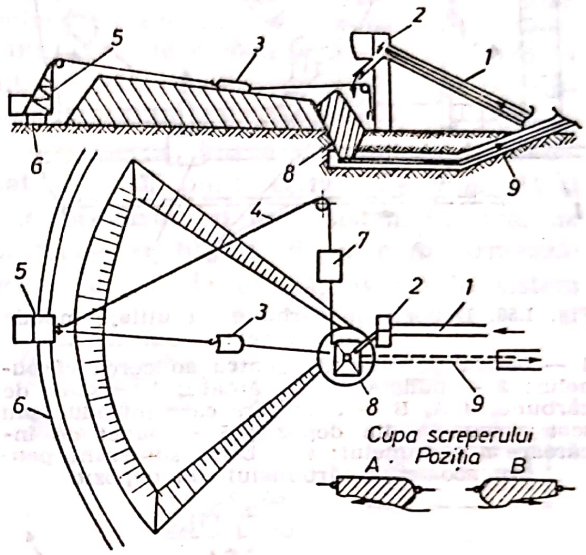


Fig. I.55. Instalație de depozit cu screper: *1* — bandă spre depozit; *2* — turn fix; *3* — cupa screperului; *4* — cablu de tracțiune; *5* — turn mobil; *6* — cale de rulare; *7* — casa troliilor; *8* — siloz de recepție din depozit; *9* — bandă spre centrală.

cărbunelui cupa se întoarce cu 180° în poziția *B*, astfel încît la deplasarea de la centru spre periferie să alunece pe suprafața cărbunelui, iar deplasarea spre centru să se înfigă în cărbune și să tîrască un volum de cărbune pînă deasupra silozului subteran de recepție *8*, din care banda *9* preia cărbunele spre sala cazanelor. Întreaga comandă se face de la un punct central, situat la partea superioară a turnului fix.

La centralele termoelectrice de mare putere se folosește soluția de răspîndire și readucere a cărbunelui din depozit cu macarale greifer pe șenile, acționate electric sau cu motor propriu, cu buldozere împinse de autotractoare pe șenile sau pneuri și cu screpere pe roți trase cu autotractoare. Cu ajutorul acestor utilaje mobile se obține un grad de libertate mărit în formarea depozitului, iar debitul manipulat (20—400 t/h și agregat) depinde de numărul de unități folosite (4—6 uti-

Scanned with OKEN Scanner

laje în paralel). Autotractoarele au, totodată, și rolul de a compacta cărbunele peste care circulă, pentru o greutate și o aderență mai mare, la agregatele pe pneuri folosindu-se și soluția de a umple pneurile cu apă.

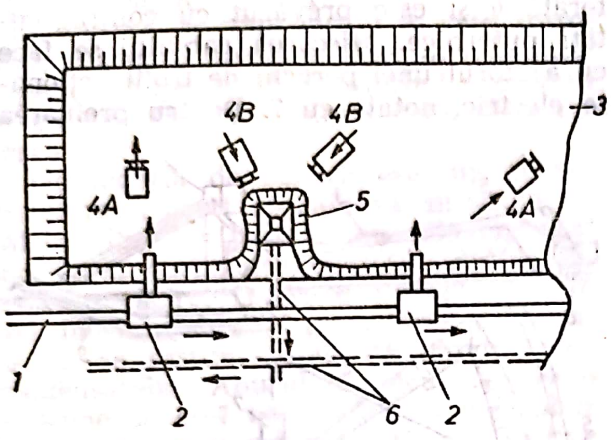


Fig. I.56. Depozit de cărbune cu utilaje mobile (buldozere):
1 — bandă pe estacadă pentru aducerea cărbunelui; *2* — puncte de descărcare; *3* — stiva de cărbune; *4 A, B* — buldozere care introduc sau scot cărbunele din depozit; *5* — punct de încărcare a cărbunelui; *6* — benzi subterane pentru scoaterea cărbunelui din depozit.

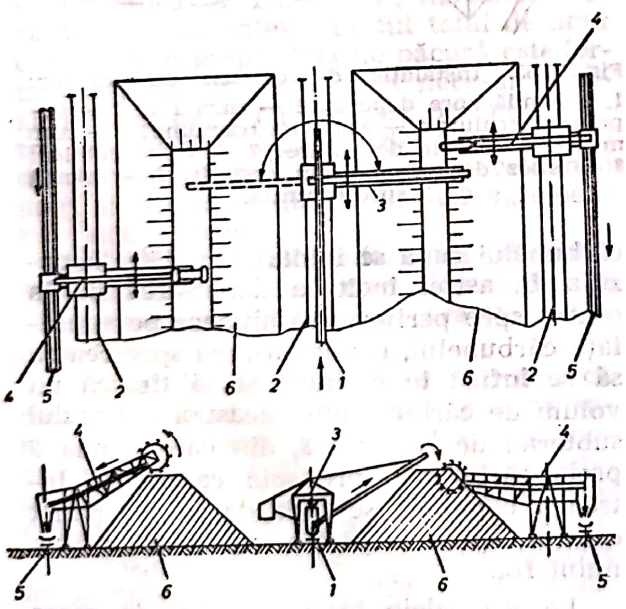


Fig. I.57. Depozit format cu benzi mobile de depozitare și excavatoare cu cupe rotative;
1 — bandă pentru aducerea cărbunelui în depozit; *2* — căi de rulare pentru instalațiile de manipulare; *3* — dispozitiv de depozitare mobil cu bandă; *4* — dispozitiv de preluare mobil cu cupă rotativă; *5* — bandă de prelucrare a cărbunelui; *6* — stive de cărbuni.

În figura I.56 este arătat un depozit cu utilaje mobile, iar în figura I.57, o gospodărie de cărbune cu depozit deservit de dispozitive cu benzi de depozitare și cu excavatoare cu cupe rotative. Benzile mobile de depozitare și excavatoarele cu cupe rotative se pot deplasa pe linii drepte de cale ferată, în care caz depozitul are forma unor prisme dreptunghiulare sau se pot roti în jurul unui ax central, în care caz depozitul este circular.

Stivele de cărbuni se fac cu cărbuni cu caracteristici fizico-chimice apropiate. Înălțimea maximă a cărbunilor netasați nu trebuie să depășească 8 m. Pentru depozitele mari cu cărbunii așezați în straturi presate, această înălțime nu este limitată. Autoaprinderea cărbunelui are loc ca urmare a unui proces latent de oxidare a cărui viteză de reacție crește cu temperatura, dependent de posibilitatea contactului granulelor de cărbune cu aerul. La temperaturi sub 40°C viteza de reacție este lentă, dar la depășirea valorii de 60°C ridicarea temperaturii se face rapid și pot apărea centre de foc. Ca urmare, este obligatorie urmărirea temperaturii prin sonde din țevi de oțel îngropate în cărbune pînă la fundul stivei, în care se coboară termometre care măsoară temperatura din 2 m în 2 m adîncime. La ridicarea temperaturii, controlul se îndesește, iar la depășirea temperaturii de 60°C, cărbunele trebuie consumat imediat. Pentru a evita autoaprinderea la depozitarea cărbunelui pe durate mai mari de trei luni se iau următoarele măsuri: depozitarea se face cu cărbune concasat (granulație de circa 30 mm); stiva se compactează pentru a evita contactul cu aerul, în care scop cărbunii se așază în straturi și se tasează cu buldozere sau cilindri cu o presiune de 2,5—3 daN/cm^2; se evită introducerea materialelor străine în cărbune, în special lemn; stivele se taluzează, iar la partea superioară și la baza taluzelor se formează șanțuri de scurgere a apei.

Transportul cărbunelui pe teritoriul centralei electrice pînă la buncărele sălii cazanelor se face cu următoarele mijloace: transportoare cu bandă (din cauciuc, metalice cu plăci plane, metalice cu casete), elevatoare (pentru transportul pe verticală) și transportoare cu lanțuri cu raclete.

Transportoarele cu bandă din cauciuc sînt cele mai răspîndite datorită puterii de antrenare mai reduse, uzurii mici și posibilității ușoare de reparare. Transportorul se compune dintr-o curea de cauciuc, care poartă cărbunele pe partea superioară, avînd în secțiune o formă plană

sau de jgheab (Fig. I.58). Cureaua de cauciuc este susținută de role purtătoare, cîte două sau trei pentru partea superioară (dispuse mai dese, de regulă, la distanțe de 0,8—1 m) și cîte una pentru partea inferioară. Încărcarea benzii se face cu un jgheab cu ghidaje laterale din cauciuc. Descărcarea cărbunelui se face prin de-

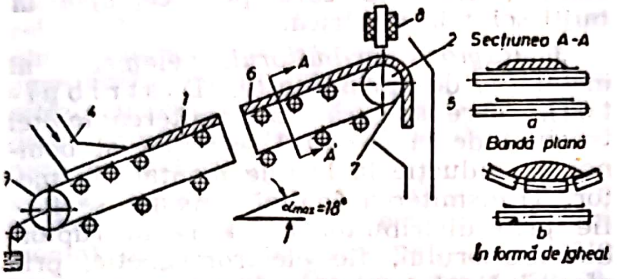


Fig. I.58. Transportor cu bandă de cauciuc: *1* — bandă transportoare; *2* — cap de antrenare; *3* — cap de întindere (cu contragreutate sau cu arc); *4* — pîlnie de încărcare; *5* — pîlnie de descărcare; *6* — role purtătoare (cu lagăre pe rulmenți sau de alunecare); *7* — răzuitor de bandă; *8* — electromagnet.

versare, la capătul benzii, cu ajutorul unui dispozitiv de descărcare de tip plug sau cu două tambure, care deviază combustibilul în direcție laterală. Tamburul de antrenare este pus în mișcare de un motor electric prin intermediul unui reductor de turație. Întinderea benzii este realizată de către capul de întindere cu ajutorul unor contragreutăți sau cu arc. Repararea curelei de cauciuc se face prin vulcanizare, local, fără demontare, cu aparate de încălzire transportabile.

Sistemul de transport al cărbunelui spre sala cazanelor se dimensionează cu două fire de benzi independente, fiecare pentru debitul maxim de combustibil, la funcționarea continuă 16—24 ore pe zi. Transportul cărbunelui spre depozit se poate face cu un singur fir de bandă. Unghiul maxim de înclinare a benzilor pentru cărbune este de 18°. Motoarele benzilor de transport sînt de tip asincron, cu rotorul în scurtcircuit, capsulate.

Obiectele metalice, feroase sau neferoase, sosite accidental odată cu cărbunele trebuie reținute pentru evitarea avariilor la morile de cărbune. Reținerea se face pe traseul benzilor de transport prin electromagneți de două tipuri: suspendați deasupra benzii (care reține obiectele plasate superficial) și încorporați în tamburul de la extremitatea superioară a benzii, în punctul de deversare (care reține obiectele feroase din profunzimea stratului de cărbune). Pentru obiectele neferoase, se instalează aparate care măsoară perturbația unui cîmp magnetic datorită prezenței unor asemenea obiecte; se marchează automat, de exemplu, prin căderea unui săculeț cu nisip, locul unde se află piesa și se oprește banda, astfel încît personalul de supraveghere să culeagă obiectul.

Sistemul de comandă și blocaj al benzilor de transport este arătat în figura I.59 pentru un sistem de transport cu două fire pentru cărbunele destinat sălii cazanelor. Se observă că, datorită punctelor ramificate de deversare de la o bandă la alta, există numeroase posibilități de alegere a căilor de alimentare. La instalațiile moderne, întreg sistemul este comandat de la un punct central de comandă și este prevăzut cu un sistem electric de protecție și blocaj, după cum urmează: orice rupere de bandă, avarie în sistem

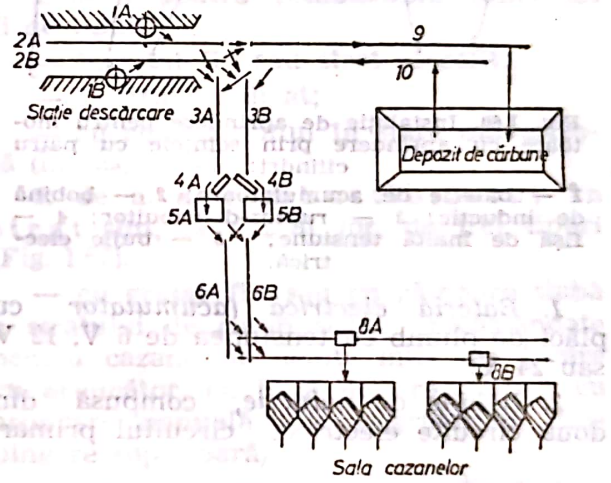


Fig. I.59. Schema funcțională a transportorului de cărbune spre sala cazanelor: *1 A, B* — încărcătoare de cărbune pe bandă; *2 A, B* — benzile de la depozit sau stația de descărcare; *3 A, B* — benzi spre stația de concasare; *4 A, B* — sortatoare mecanice; *5 A, B* — concasoare; *6 A, B* — benzile principale înclinate spre sala cazanelor; *7 A, B* — benzi de distribuție deasupra buncărelor; *8 A, B* — descărcătoare de bandă; *9* — bandă spre depozit; *10* — bandă de la depozit.

sau accident de muncă oprește transportul; un sistem temporizat de blocaje oprește automat toate instalațiile din amonte de locul defectului și menține în funcțiune pe cele din aval, pentru a degaja de cărbune instalația de transport; la pornire, pentru a evita aglomerările de cărbune și a realiza pornirea în gol, ordinea de pornire a instalațiilor este inversă fluxului de cărbune, respectiv, pentru exemplul dat, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1.

Scanned with OKEN Scanner

INSTALAȚIE DE APRINDERE. La motoarele cu aprindere prin scînteie, reprezintă un echipament auxiliar care are rolul de a produce aprinderea amestecului carburant din cilindrii motorului într-un moment bine determinat al ciclului motor. **I. de a.** (Fig. I.60) se compune din:

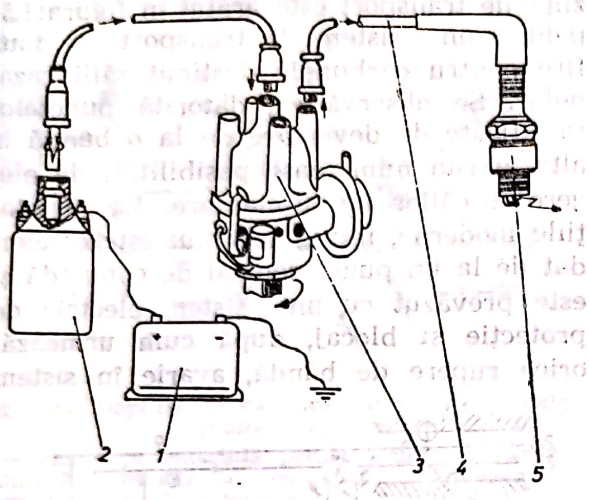


Fig. I.60. Instalație de aprindere pentru motoare cu aprindere prin scînteie cu patru cilindri:
1 — baterie de acumulatoare; *2* — bobină de inducție; *3* — ruptor-distribuitor; *4* — fișă de înaltă tensiune; *5* — bujie electrică.

1. Bateria electrică (acumulator cu plăci de plumb cu tensiunea de 6 V, 12 V sau 24 V).

2. Bobina de inducție, compusă din două circuite electrice: circuitul primar, constituit din 2—300 fire, cu secțiunea de 0,6...1,0 mm, alimentat de la bateria de acumulatoare și circuitul secundar, format dintr-un număr foarte mare (15 000—20 000) de spire de secțiune mică 0,08...0,10 mm. Curentul primit de la baterie induce o tensiune electromotoare foarte înaltă (14 000—18 000 V) în circuitul secundar, tensiune care produce apoi la bujii scînteia electrică.

3. Ruptor-distribuitorul, element al instalației de aprindere (v. Distribuitor), care asigură transmiterea înaltei tensiuni de la circuitul secundar al bobinei de inducție la bujiile montate în motor. Transmiterea înaltei tensiuni se face fie prin distribuitorul rotativ al ruptor-distribuitorului, fie electromagnetic, prin efectul Haal (procedeu bazat pe transmiterea unor impulsuri magnetice care acționează circuite electronice ce comandă la rîndul lor curentul din circuitul primar). Există distribuitoare care înlocuiesc ruptorul printr-o fotodiodă de impulsuri luminoase.

4. Fișele de înaltă tensiune (de distribuție), care constituie conexiunile între ruptor-distribuitor și bujii, cîte una pentru fiecare bujie, plus fișa care face legătura între bobina de inducție și distribuitor.

5. Bujiile, care reprezintă ultimul element al lanțului **i. de a.,** la nivelul electrozilor ei producîndu-se scînteia electrică ce aprinde amestecul carburant (v. Bujie).

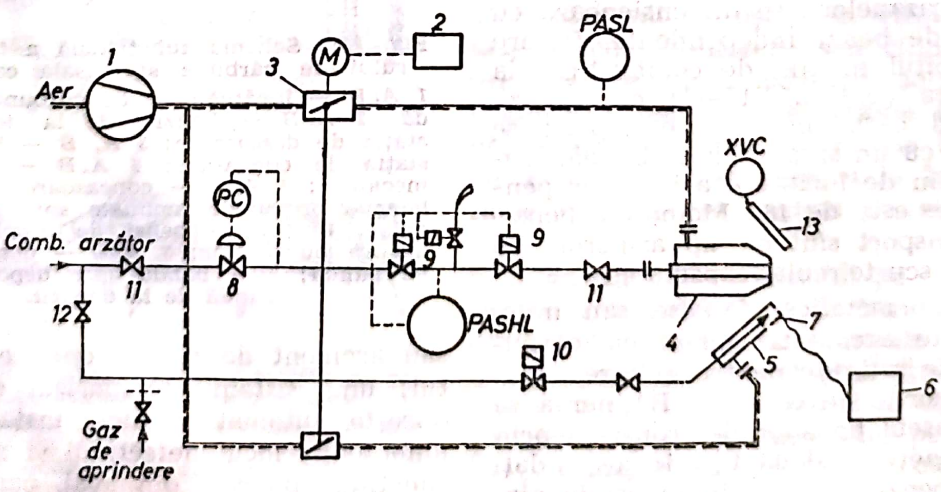


Fig. I.61. Schema instalației de aprindere a arzătorului:
1 — ventilator de aer; *2* — regulator de sarcină; *3* — clapete de reglaj; *4* — arzător principal; *5* — arzător pilot; *6* — transformator electric pentru aprindere (5—10 kV); *7* — electrozi de aprindere; *8* — robinet de reglare a presiunii; *9* — electroventile; *10* — electroventil circuit arzător pilot; *11*, *12* — robinete de închidere; *13* — fotocelulă; *PASL* — lipsă aer; *PASHL* — presiune necorespunzătoare combustibil; *XVC* — lipsă flacără; *PC* — reglarea presiunii combustibilului.

Scanned with OKEN Scanner

În ultimii ani, pentru autoturisme, s-au creat instalații de aprindere electronică, la care determinarea precisă a punctului de transmitere a scînteii la bujie (aprinderea) este făcută de un minicalculator electronic. Acesta primește de la diferiți captori (magnetici, optici sau electrici), montați în motor, informații privind viteza de rotație a arborelui cotit (sau a volantului), depresiunea din conducta de admisie, temperatura amestecului carburant etc. și determină, astfel, cu precizie punctul optim de aprindere indiferent de condițiile de funcționare ale motorului.

La cazanele și cuptoarele industriale, **i. de a.** este dispozitivul montat în arzătorul principal, care poate realiza aprinderea, fie pe cale electrică, fie cu combustibil gazos sau lichid. În figura I.61 este prezentată schema unei **i. de a.** cu dispozitiv de producere a unei scîntei electrice la arzătorul pilot cu gaz metan. Aprinzătorul automat funcționează circa 5 s, în acest interval, în circa 2—3 s se deschid electroventilele *10* și *9*. La electrozii 7 se produc scîntei cu circa o secundă înainte de deschiderea ventilului *10* și 3 s după. Dacă fotocelula sesizează lipsa flăcării, se comandă închiderea electroventilelor *9* și apoi *10*. După ventilarea spațiului de ardere circa 2—4 min., se reia aprinderea. Arzătorul se blochează (pe normal închis) la semnalizările: lipsă flacără (lipsă curent ionizare — XVC; presiune necorespunzătoare combustibil — PASHL; lipsă aer — PASL). La instalațiile de ardere cu combustibil lichid, la aprindere se utilizează combustibil gazos (butan).

INSTALAȚIE DE ARDERE. Ansamblu, alcătuit din unul sau mai multe arzătoare și o serie de instalații aferente (de alimentare cu combustibil, de alimentare cu aer, de preîncălzire a combustibilului, de reglare și automatizare, de aprindere ș.a.) ce au rolul de a realiza amestecarea combustibilului cu aerul de ardere, introducerea lor în focar, aprinderea amestecului rezultat și menținerea unui raport optim între cei doi reactanți pe toată durata arderii.

După natura combustibilului utilizat, **i. de a.** se clasifică în:

— **i. de a.** pentru combustibili gazoși;

— **i. de a.** pentru combustibili lichizi.

— **i. de a.** pentru combustibili solizi.

— **i. de a.** combinate, pentru mai multe feluri de combustibili (gazoși-lichizi; gazoși-solizi; gazoși-lichizi-solizi).

I. de a. pentru combustibili gazoși și lichizi se pot clasifica: după presiunea de alimentare cu combustibil (pentru combustibili gazoși: **i. de a.** cu presiune joasă $\leqslant$200 mm H_2O; cu presiune medie $\simeq$500 mm H_2O; cu presiune ridicată 2 000—5 000 mm H_2O și presiune înaltă $\geqslant$ 5 000 mm H_2O; pentru combustibili lichizi: **i. de a.** cu alimentare prin cădere liberă și prin pompe de combustibil), după modul de alimentare cu aer de ardere (cu aer aspirat prin tiraj, cu aer insuflat, cu aer aspirat prin efectul de ejecție al combustibilului); după nivelul de automatizare (manuale, semiautomate, automate); după modul de reglare a sarcinii (reglare continuă, reglare discontinuă); după numărul de arzătoare (cu un arzător, cu mai multe arzătoare); după modul de realizare a aprinderii arzătoarelor din componență (automată, manuală); după tipul combustibilului folosit.

I. de a. pentru combustibili solizi pot fi de tipul:

— în strat fix sau strat răscolit;

— în strat fluidizat;

— cu combustibilul în stare pulverizată (în suspensie).

I. de a. a combustibilului în strat sînt, la rîndul lor, de trei tipuri (Fig. I.62).

— cu grătar fix sau cu răscolire slabă a stratului de combustibil, recomandate pentru cazane de debite mici (cu focare cu aruncător, cu bază de răscolire, cu aruncare manuală, sau cu grătar cu împingere superioară);

— cu grătar cu răscolire medie a stratului de combustibil (cu împingere superioară, vibratoare, înclinate ș.a.);

— cu grătar cu răscolire intensă a stratului de combustibili (cu împingere răsturnată).

I. de a. în strat fluidizat sînt de tipul (Fig. I.63):

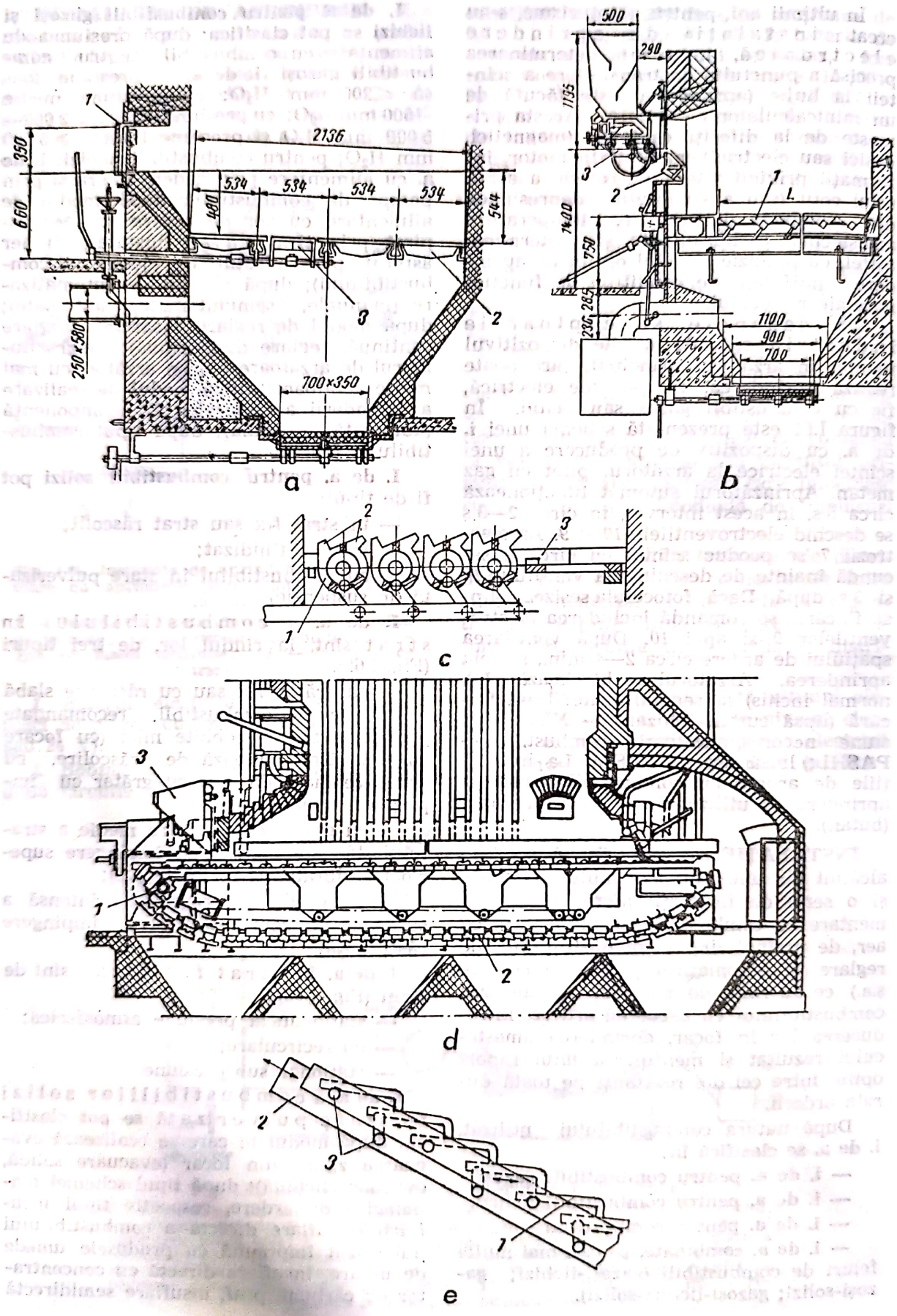
— staționar la presiune atmosferică;

— cu recirculare;

— staționar sub presiune.

I. de a. a combustibililor solizi în stare pulverizată se pot clasifica: după modul în care se realizează evacuarea zgurii din focar (evacuare solidă, evacuare lichidă); după tipul schemei tehnologice de ardere, respectiv tipul insuflării (insuflare directă a combustibilului pulverizat împreună cu produsele umede de uscare, insuflare directă cu concentrator de cărbune praf, insuflare semidirectă

Scanned with OKEN Scanner


1
350
660
2136
534
534
534
534
480
544
3
2
250×580
700×350
a
500
290
1135
3
2
1
L
1400
750
285
236
1100
900
700
b
2
3
1
c
3
1
2
d
2
3
1
e

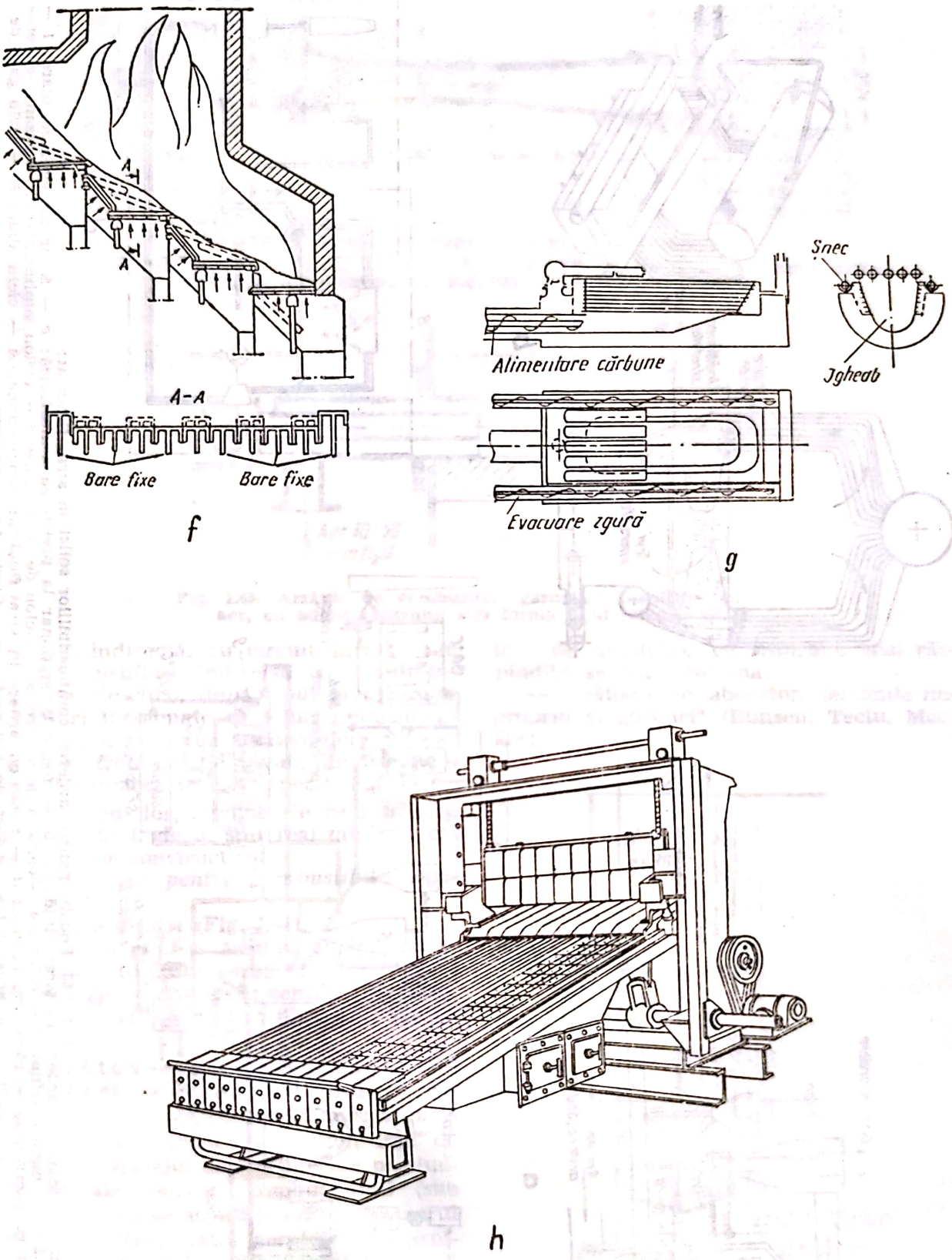


Fig. I.62. Focare pentru arderea combusibililor solizi:
a — cu grătar fix; *1* — uşă de alimentare; *2* — bare grătar; *3* — bare evacuare zgură; b — cu grătar cu bare oscilante; *1* — bare oscilante; *2* — cutie de aer; *3* — aruncător de cărbune; c — cu grătar cub oscilant: *1* — bare grătar; *2* — pinteni; *3* — grătar basculant; *d* — cu grătar catenar: *1* — ax motor; *2* — placă grătar; *3* — buncăr; *e* — cu grătar cu împingere superioară: *1* — bare grătar; *2* — mecanism de acţionare; *3* — axe pentru motoare; *f* — cu grătar mecanic cu bare de răscolire; *g* — cu grătar cu melc; *h* — cu grătar vibrator.

Scanned with OKEN Scanner

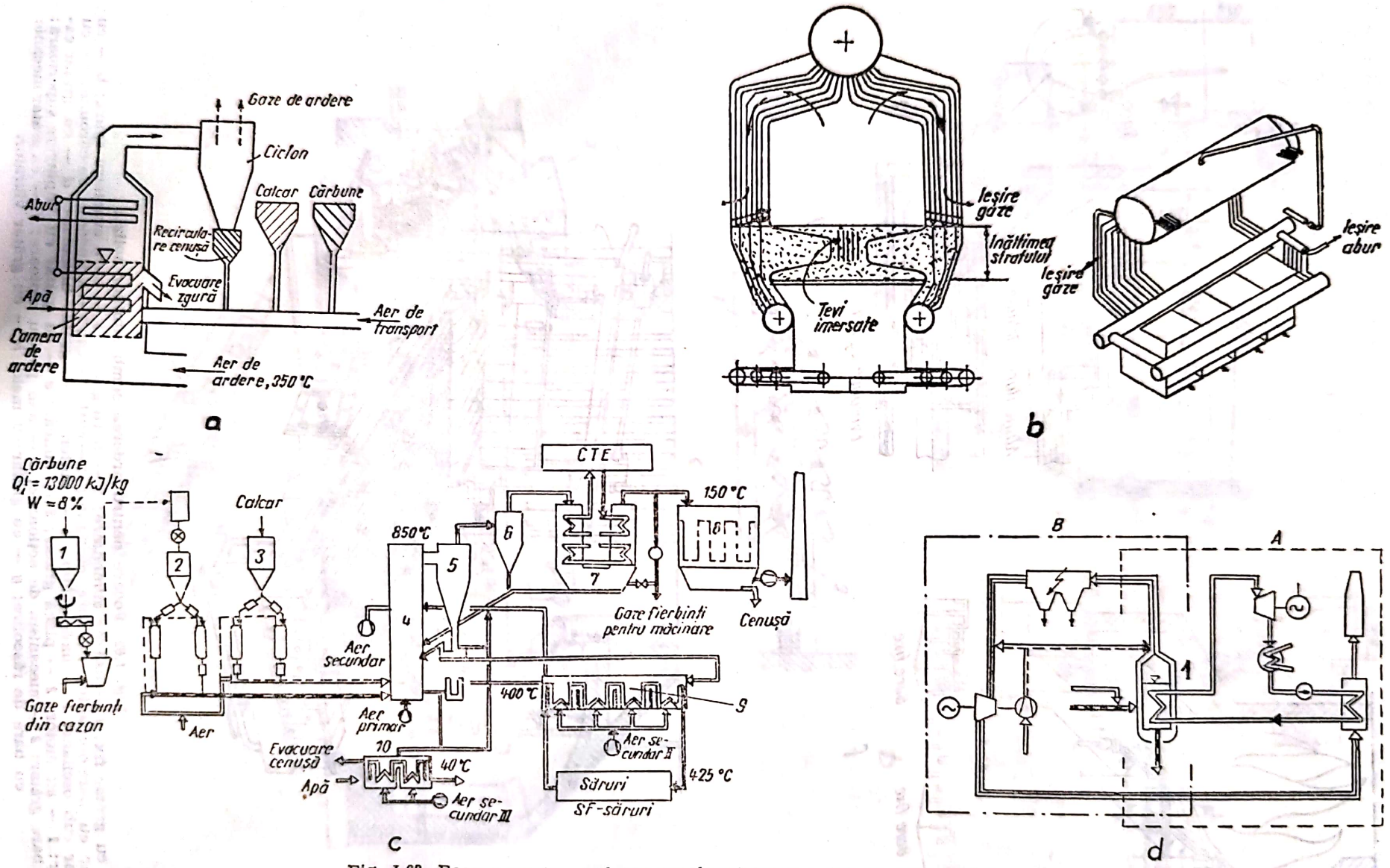


Fig. I.63. Focare pentru arderea combustibililor solizi în strat fluidizat:
a — schema unui cazan cu ardere în strat fluidizat; *b* — focar tip staționar la presiunea atmosferică; *c* — focar tip cu recirculare; *1* — cărbune brut; *2* — cărbune măcinat; *3* — calcar; *4* — cameră de ardere; *5* — ciclon de recirculare; *6* — ciclon suplimentar; *7* — cazan recuperator; *8* — filtru cu saci; *9, 10* — răcitoare, cenușă; *d* — focar cu ardere în strat fluidizat sub presiune: *A* — ciclu abur; *B* — ciclu gaze de ardere; *1* — cameră de ardere în strat fluidizat sub presiune.

Scanned with OKEN Scanner

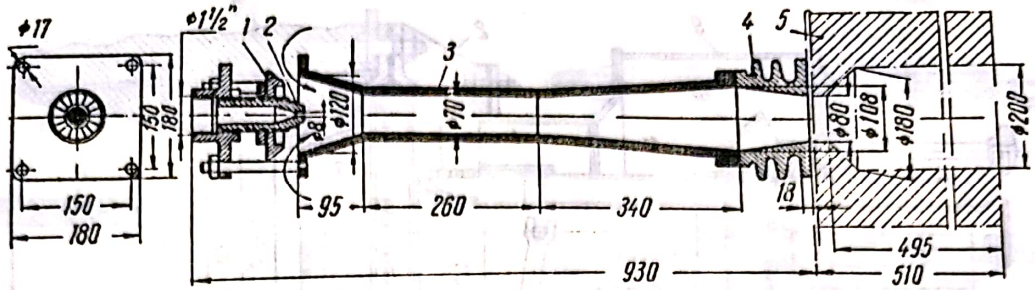


Fig. I.64. Arzător de combustibil gazos cu aspirație:
1 — regulator de aer; 2 — ajutaj de gaze; 3 — cameră de amestec; 4 — capul arzătorului; 5 — corp refractar pentru stabilizarea flăcării (ambrazură).

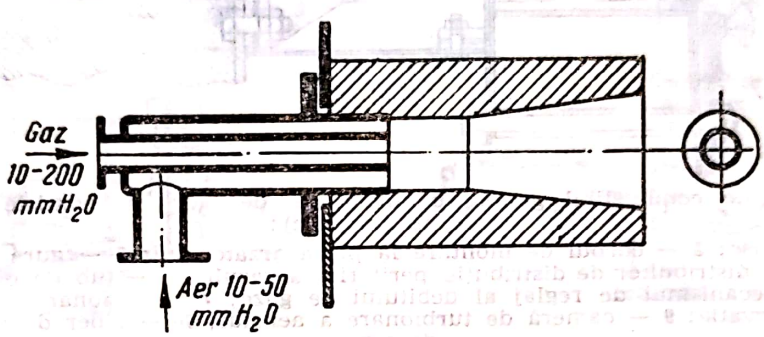


Fig. I.65. Arzător de combustibil gazos cu insuflare de aer, cu admisia gazului sub forma unui jet central.

sau semiindirectă, cu circuit închis sau deschis, insuflare indirectă cu circuit închis sau deschis), după tipul arzătoarelor (cu jeturi turbionate, cu jeturi neturbionate); după dispunerea arzătoarelor în focar (de colț, frontale, de tavan, liniară etc.); după încărcarea termică specificată.

La rîndul lor, arzătoarele ce intră în componența **i. de a.** sînt realizate sub diverse forme constructive.

Arzătoarele pentru combustibilii gazoși pot fi:

— cu aspirație (Fig. I.64);

— cu insuflarea aerului și introducerea combustibilului gazos în curentul de aer sub formă de jeturi: central (Fig. I.65); periferic (Fig. I.66); mixt (Fig. I.67) sau cu lănci.

Arzătoarele cu aspirație sînt dotate cu ejector cu ajutorul căruia se realizează aspirația aerului din mediul ambiant de către gazul combustibil ieșit cu viteză din ajutajul arzătorului. La presiuni scăzute ale gazului, combustibilul (sub 500 mm H_2O) se aspiră 30—70% din aerul necesar arderii, restul aerului fiind aspirat ca aer secundar prin tirajul focarului sau introdus în focar cu un ventilator; la presiuni mai mari ale gazului se aspiră mai mult aer sau chiar tot aerul necesar arderii, ceea ce asigură un domeniu de reglaj mai larg. Dintre tipurile constructive de arzătoare cu aspirație mai răspîndite, se pot menționa:

— arzătoare de laborator, denumite impropriu și „becuri" (Bunsen, Teclu, Mecker);

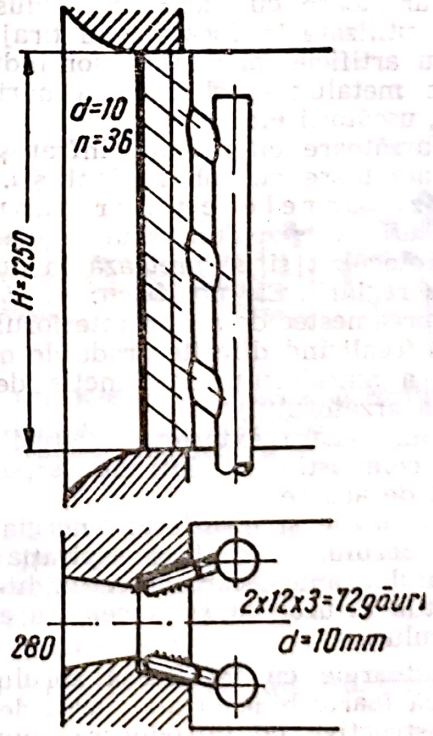


Fig. I.66. Arzător de combustibil gazos cu insuflare de aer, cu admisie a gazului, periferică.

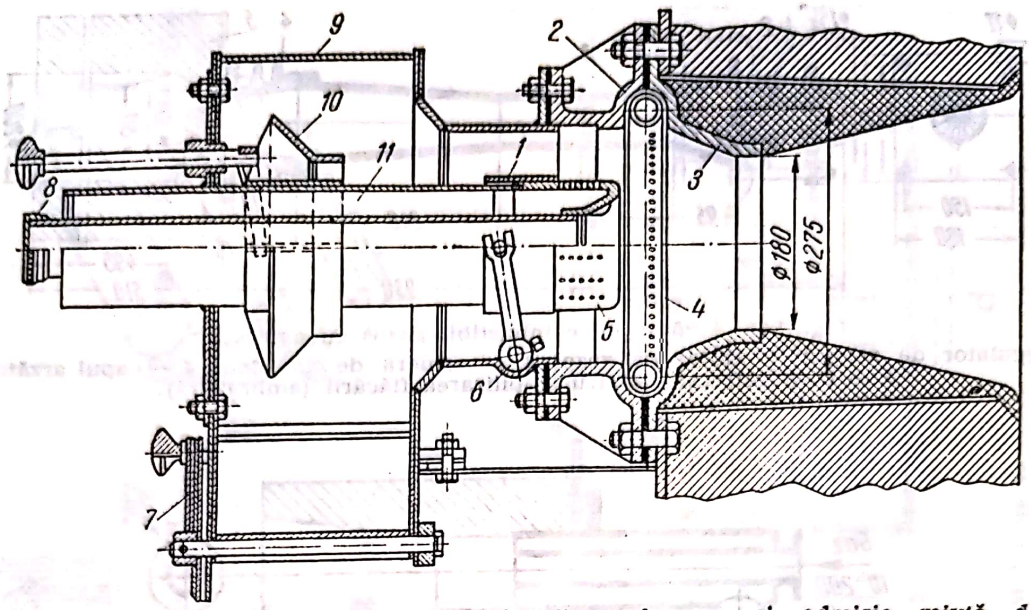


Fig. I.67. Arzător de combustibil gazos cu insuflare de aer și admisie mixtă de gaz (central+periferic):

1 — registru cilindric; *2* — corpul de montare la placa arzătorului; *3* — gura de ieșire a arzătorului; *4* — inelul distribuitor de distribuție periferică a gazului; *5* — tub de distribuție centrală a gazului; *6* — mecanismul de reglaj al debitului de gaze; *7* — acționarea șiberului de aer; *8* — vizor de observație; *9* — cameră de turbionare a aerului; *10* — șiber de reglaj al debitului de aer.

— arzătoare de uz casnic;

— arzătoare cu tub divergent (tip TD), utilizate la cuptoare industriale și cazanele de apă caldă sau abur;

— arzătoare tip Seitan-Marse, destinate cazanelor de încălzire centrală;

— arzătoare cu gabarit redus (tip AGR), utilizate în focarele cu tiraj natural sau artificial al cuptoarelor industriale din metalurgie, chimie, rafinării de petrol, uscătorii etc.;

— arzătoare cu radiații infraroșii;

— arzătoare cu tub radiant ș.a.

Arzătoarele cu aer insuflat (cu insuflație) pot funcționa cu aer rece sau preîncălzit și se pretează la automatizarea reglării. Ele pot fi cu:

— preamestec de aer în interiorul arzătorului (realizînd diferite grade de omogenizare a amestecului în funcție de construcția arzătorului);

— amestecare exterioară (jeturile de aer și combustibil se introduc separat în spațiul de ardere);

— aspirație și insuflație (energia cinetică a aerului servind la aspirația combustibilului, amestecarea efectuîndu-se într-un tub difuzor ca și la cele cu aspirația aerului).

Arzătoarele cu insuflarea aerului se pretează foarte bine la adaptarea de soluții constructive cu introducere simultană sau succesivă a combustibililor lichizi sau solizi (arzătoare combinate). Amestecul aer-combustibil gazos se poate realiza (atît la arzătoarele cu preamestecare, cît și la cele cu amestec în exterior) în curenți turbionari sau neturbionari, paraleli, perpendiculari sau încrucișați.

Dintre tipurile constructive mai răspîndite menționăm:

— arzătoare tip GAR (Gaz-Aer-Rotund) ce fac parte din categoria arzătoarelor cu curenți încrucișați, cu amestec turbionar la gura arzătorului; sînt destinate cuptoarelor industriale metalurgice (cuptor de fontă, de recoacere, de topire etc.) pentru temperaturi variind între 600 și 1 200°C (Fig. I.68);

— arzătoare tip GAP (Gaz-Aer-Preamestecat), folosite pentru încălzirea cuptoarelor industriale cu secțiune circulară cu volum mic; realizează flăcări cu proprietăți chimice variabile (reducătoare sau oxidantă);

— arzătoare tip TRICEM de tip toroidal cu flacără radiantă;

— arzătoare tip VARTICEM cu funcționare pe gaze naturale de presiune joasă (500 mm H_2O), la care gazul combustibil este introdus printr-un tub central stabilizator, iar aerul este distribuit în două fluxuri, delimitate de un al doilea stabilizator inelar, dispus coaxial cu cel central; se pot utiliza la cuptoare cu mers continuu în care temperatura variază sau se menține constantă în intervalul 200—1 700°C, la cuptoare de tratament termic, de forjă, de laminare, la uscarea formelor și miezurilor în turnătorii;

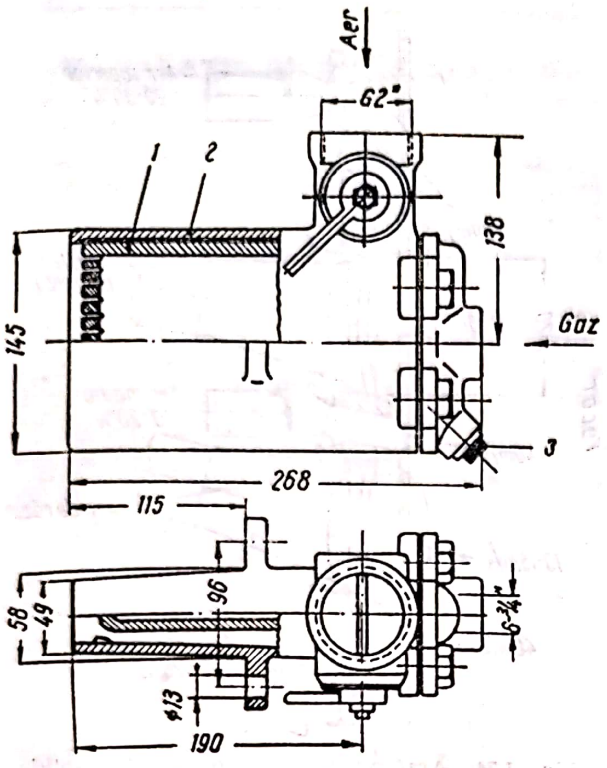


Fig. I.68. Arzător de combustibil gazos tip GAP:
1 — camera de distribuție a gazelor; 2 — camera de aer; 3 — dop G 3/8".

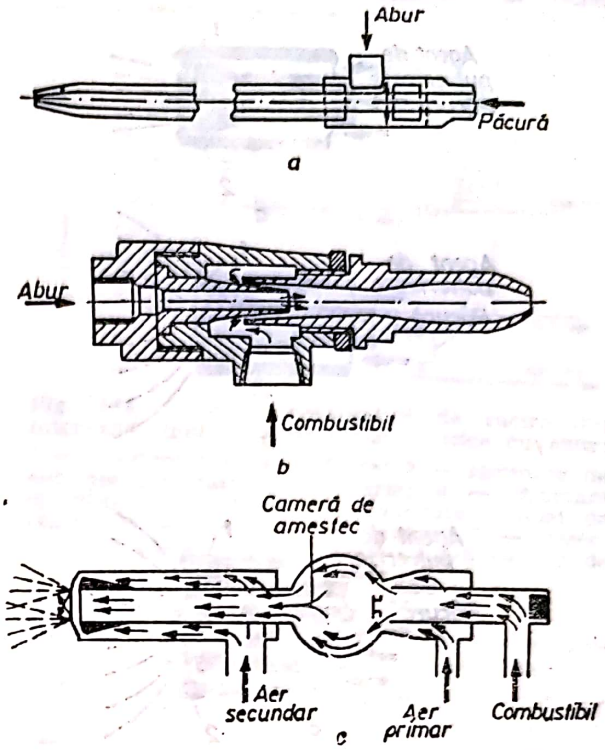


Fig. I.70. Arzătoare (Injectoare) cu pulverizare prin fluid de antrenare:
a — injector simplu cu amestecare exterioară; b — injector cu abur cu amestecare interioară; c — injector cu aer comprimat.

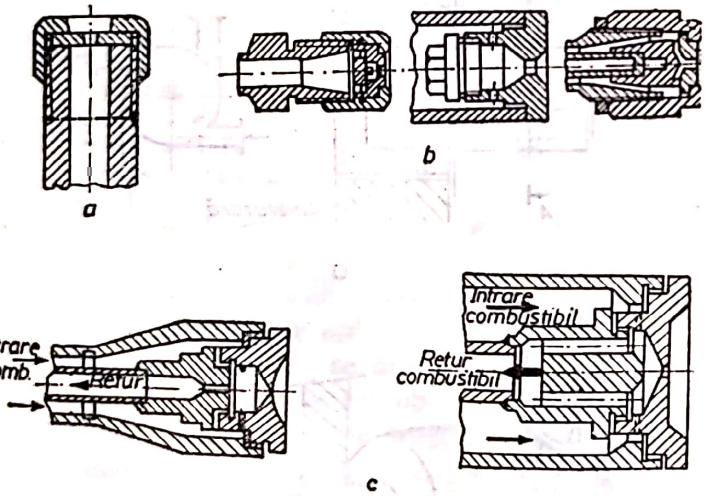


Fig. I.69. Arzătoare (Injectoare) cu pulverizare mecanică):
a — simplu; b — cu cameră de turbionare fără retur; c — cu cameră de turbionare și retur (frontal și periferic).

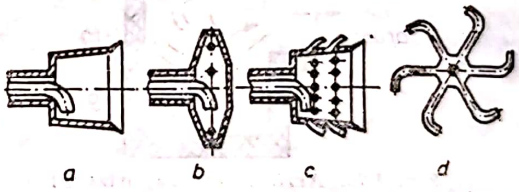


Fig. I.71. Arzătoare (Injectoare) rotative:
a — cupă deschisă; b — disc închis; c — contururi multiple; d — reactiv.

Arzătoarele pentru combustibilii lichizi sînt alcătuite, în principal, din două elemente: injectorul și corpul arzătorului (carcasa și dispozitivul de direcționare a aerului). După procesul de pulverizare a combustibililor lichizi, arzătoarele (injectoarele) pot fi:

— cu pulverizare mecanică prin presiune (simple, cu cameră turbionară (Fig. I.69);

— cu pulverizare prin fluide auxiliare (cu aer de joasă sau înaltă presiune, abur) (Fig. I.70);

— rotative (Fig. I.71);

— cu pulverizare prin ultrasunete (Fig. I.72);

— cu vaporizare (Fig. I.73).

Arzătoarele pentru arderea combustibililor solizi în stare pulverizată au rolul

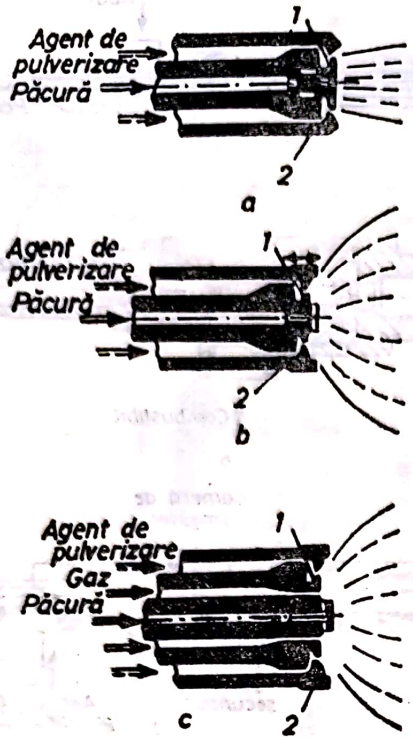


Fig. I.72. Arzătoare cu pulverizare prin ultrasunete:
a — pentru flacără jet; *b* — pentru flacără lalea; *c* — mixt.
1 — cameră de rezonanță; *2* — schimbător de sens.

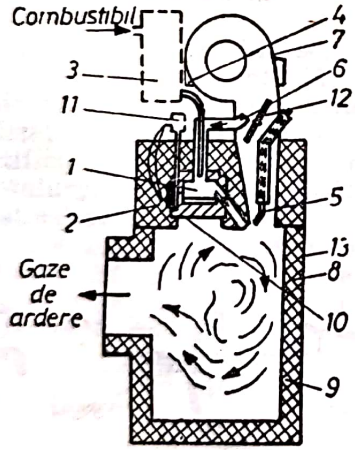


Fig. I.73. Arzător cu vaporizare:
1 — vaporizator; *2* — încălzitor electric; *3* — element dozator; *4* — transformator; *5* — electrod de aprindere; *6* — conductă pentru suflare cu aer; *7* — ventilator; *8* — fibră refractară; *9* — cameră de ardere; *10* — suprafața de vaporizare; *11* — termostatul vaporizatorului; *12* — clapeta de aer; *13* — carcasa cilindrică.

de a insufla în camera de ardere (focar), sub formă de jeturi, amestecul primar (combustibilul solid în stare pulverizată și agentul de transport pneumatic) și aerul secundar. Ele se pot clasifica în:

— arzătoare cu stabilizare externă, cu jeturi neturbionate (tip ambrazură și tip cu jeturi) (Fig. I.74);

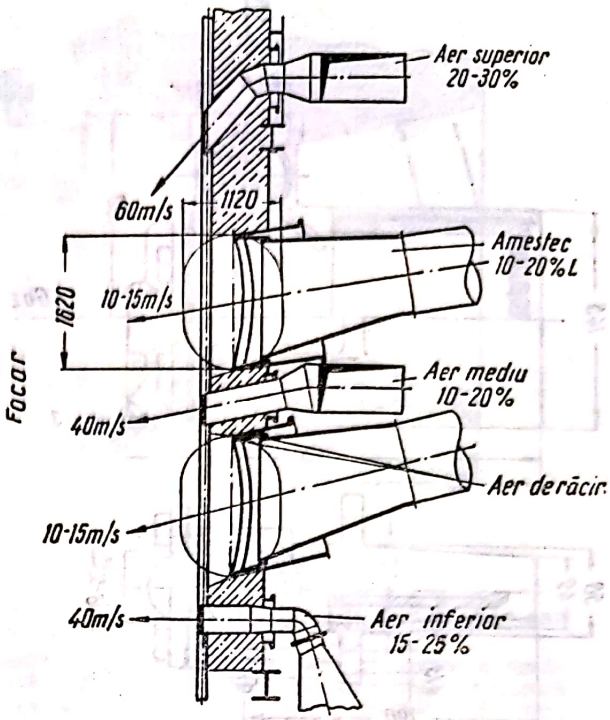


Fig. I.74. Arzător pentru combustibil solid pulverizat, cu fante, cu jeturi neturbionate.

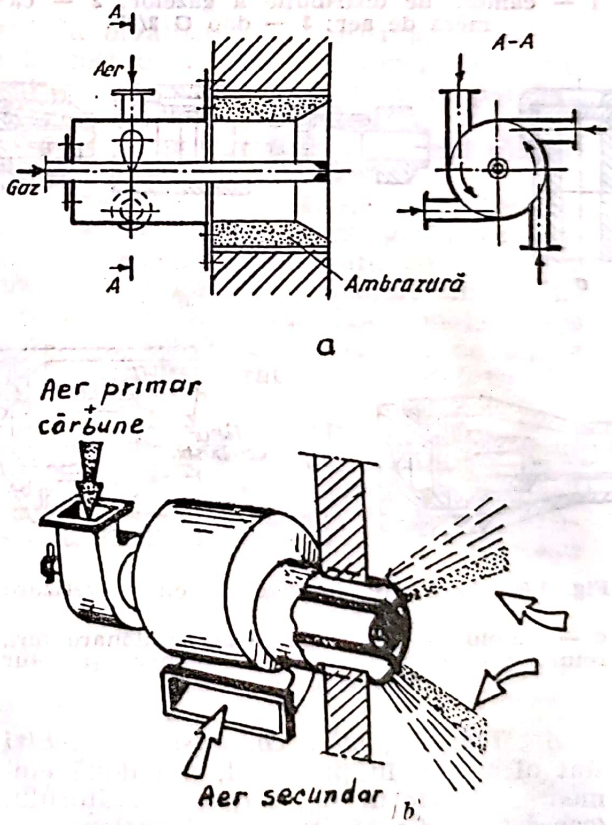


Fig. I.75. Arzătoare cu jeturi turbionate:
a — pentru gaz; *b* — pentru cărbune pulverizat.

— arzătoare cu jeturi turbionate (cu turbionarea numai a aerului secundar și cu turbionare multiplă) (Fig. I.75).

Scanned with OKEN Scanner

INSTALAŢIE DE ÎNCĂLZIRE. v. Boiler; Cazan de abur; Termoficare.

INSTALAŢIE DE RĂCIRE. Ansamblu de construcţii, aparate şi dispozitive destinat extragerii şi transportului căldurii produse într-un proces sau instalaţie din industria energetică sau din celelalte ramuri industriale (chimie, metalurgie, construcţii de maşini etc.). Ca agent termic pentru prelucrarea căldurii se utilizează, de regulă, apa şi, într-o măsură mai mică, aerul. Într-o serie de procese industriale (chimie, frigotehnie, climatizare etc.), ca agenţi de răcire se pot folosi şi alte fluide (produse chimice, agenţi frigorifici etc.).

I. de r. cu apă. Răcirea centralelor termoelectrice (CTE) şi a centralelor nuclearoelectrice (CNE) se face, în mod obişnuit, cu apă. Debitele de apă necesare sînt deosebit de mari şi au valori cuprinse în intervalul 130—190 m³/hMW. Consumatorii de apă de răcire la o CTE sînt: condentoarele turbinelor principale şi ale turbopompelor, răcitoarele generatoarelor şi ale excitatoarelor, răcitoarele de ulei ale turbinei, circuitele de răciri tehnologice pentru echipamentele serviciilor interne (răciri de lagăre la mori, ventilatoare, pompe, motoare electrice mari, cuple hidraulice), răcirea compresoarelor de aer. La centralele cu cărbune, în afara celor de mai sus, este nevoie de un debit de apă pentru evacuarea hidraulică a zgurii şi cenuşii. Debitul principal de apă este cel necesar răcirii condensatorului. Dacă acest debit se notează cu 100%, celelalte debite de răcire însumează valori de 15—33%.

La un condensator, raportul $\dot{m}=D_{ar}/D_{ab}$ dintre debitul de apă de răcire D_{ar} şi debitul de abur D_{ab} se numeşte *multiplu de răcire* şi valoarea lui obişnuită este de 50—70, corespunzător intervalului de încălzire a apei de răcire $\Delta t_{ar}=8\ldots12$°C. În figura I.76, este reprezentată schema circuitului de apă de răcire al condensatoarelor şi schema de legătură pentru răcitoarele de aer şi ulei.

La o CTE sau CNE, răcirea poate avea loc în circuit deschis, circuit închis sau circuit mixt.

Pentru exploatarea sigură şi economică a **i. de r.**, apa trebuie să îndeplinească următoarele condiţii, care să asigure: că pe ţevile suprafeţelor aparatelor schimbătoare de căldură nu se produc înfundări, depuneri, eroziuni sau coroziuni ce ar putea să afecteze calitatea transferului de căldură şi etanşeitatea; să nu conţină impurităţi plutitoare care pot înfunda ţevile condensatoarelor şi ale răcitoarelor; să nu

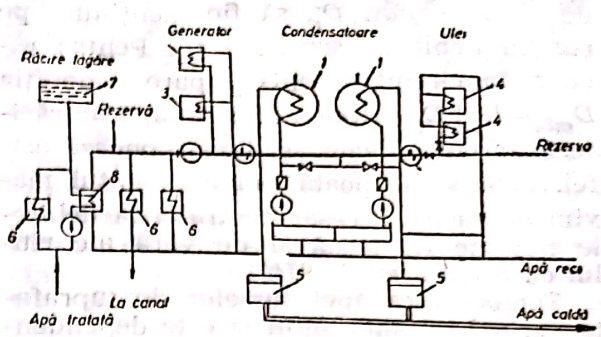


Fig. I.76. Schema instalaţiilor de răcire din interiorul unei centrale termoelectrice cu abur: *1* — condensator; *2* — filtre; *3* — răcitoare de aer ale generatorului electric; *4* — răcitoare de ulei; *5* — cămine de evacuare a apei de răcire; *6* — răcitoare de lagăre; *7* — rezervor de răcire a lagărelor; *8* — schimbător de căldură.

conţină impurităţi în suspensie cu diametrul mai mare de 0,15 mm, fiind recomandabilă reţinerea particulelor mai mari de 0,1 mm; să nu conţină substanţe corosive care să atace ţevile aparatelor; să fie lipsită de substanţe organice, microorganisme şi alge, care ar produce înfundarea ţevilor şi ar reduce mult coeficientul de transfer al căldurii, prin formarea unei pelicule pe suprafeţele ţevilor; să aibă o duritate temporară cît mai redusă, pentru evitarea depunerilor de piatră, valorile normale ale durităţii considerîndu-se 3—3,5 mval/l şi pe timp limitat 4,3—4,6 mval/ l la **i. de r.** în circuit închis; să nu conţină ulei în suspensie care se depune pe ţevi şi are, de asemenea, un efect de micşorare a coeficientului de transfer al căldurii.

I. de r. folosesc surse de apă de suprafaţă (rîuri, lacuri, mări) sau subterane (puţuri, drenuri, fîntîni arteziene). În general, sursele subterane au un debit limitat şi se recurge la ele numai ca apă de adaos la răcirea în circuit închis.

Cele mai curente surse de suprafaţă sînt apele curgătoare. Mărimea debitului şi modul cum variază în timpul unui an sînt foarte diferite şi depind mai ales de următorii factori: bazinul de recepţie, valoarea precipitaţiilor anuale, natura solului şi gradul de împădurire, clima regiunii.

Prin încălzirea apei din rîu datorită căldurii evacuate, poate avea loc o poluare a apei denumită *poluare termică*. Condiţiile legale normează că, după ieşirea apei din CTE, trebuie îndeplinite următoarele condiţii: creşterea temperaturii apei să nu depăşească 5°C, iar temperatura maximă a apei rîului să nu depăşească 31°C. Pentru ca aceste condiţii să fie îndeplinite, este nevoie ca, pe lîngă debitul

Scanned with OKEN Scanner

de răcire captat D_r, să fie menținut pe rîu un debit de servitute D_s. Pentru răcirea în circuit deschis apare condiția $D_{min}=D_r+D_s$. Alimentarea cu apă de răcire în circuit deschis se dimensionează astfel, încît să se poată asigura debitul maxim de răcire necesar centralei la debitele minime de iarnă și de vară ale rîului cu asigurarea de 97%.

Temperatura apei surselor de suprafață variază cu anotimpul și este dependentă de temperatura și umiditatea aerului. Iarna, temperatura medie lunară a apei unor rîuri din R.S.R. este de minimum 2—5°C, iar vara, maximum de 20—24°C. Pentru îndeplinirea condițiilor impuse de limitele de poluare termică a apei, bilanțurile de debite ale rîului trebuie verificate în condițiile temperaturilor maxime. Dacă debitele pe rîu sînt insuficiente, sau temperaturile după restituire prea ridicate, este necesar să se renunțe la o parte din apa rîului și să se treacă o cotă din debitul de răcire în circuit închis. Intervenția turnurilor de răcire (circuitul închis) se face în trepte, pe măsură ce debitul de rîu scade. În perioadele cînd se funcționează în circuit mixt (rîu și turn de răcire), temperatura apei de răcire se stabilește ca urmare a interacțiunii debitului preluat de la rîu D_r cu temperatura t_r și a debitelor de la turnuri D_t cu temperaturile respective t_t.

În cazul folosirii surselor de suprafață, apa caldă trebuie evacuată la rîu la un nivel astfel ales, încît să se poată asigura funcționarea condensatoarelor și la apele mari cu frecvența probabilă de 1 : 100 ani.

Datorită calităților superioare, apa din pînzele subterane este rezervată pentru alimentări cu apă potabilă. Sursele subterane pot fi puțuri, fîntîni arteziene sau drenuri. Debitul lor variază puțin în cursul anului și depinde de condițiile geologice ale terenului. Debitul maxim al unui puț din prima pînză freatică poate atinge 0,02—0,06 m³/s. Temperatura apei subterane este de 12—18°C și variază puțin în cursul anului. Apele subterane nu au suspensii mecanice sau impurități, dar, de obicei, conținutul lor de săruri este mai ridicat decît cel al apelor de suprafață.

Apele din sursele subterane sînt folosite pentru circuitele de răcire speciale care reclamă temperaturi reduse ale agentului de răcire și numai ca apă de adaos la răcirea în circuit închis. În vederea menținerii durității apei în circuitul de răcire, în cazul întrebuințării apei subterane, se face adeseori o dedurizare prealabilă a acesteia prin reacții chimice simple (cu var).

I. de r. cu apă în circuit deschis. Schema de alimentare cu apă de răcire în circuit deschis este prezentată în figura I.77. Apa se preia din rîu prin pri-

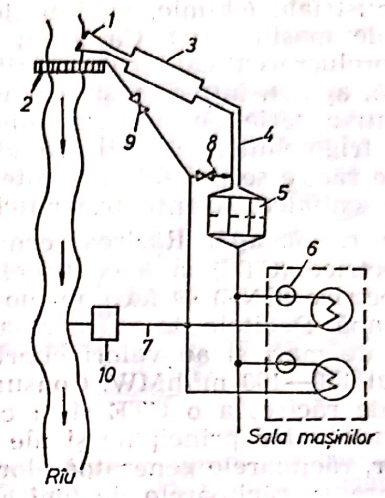


Fig. I.77. Schema alimentării cu apă de răcire, în circuit deschis, prin cădere:

1 — priză; *2* — baraj; *3* — denisipator; *4* — conducte sau canal de aducțiune; *5* — casa sitelor; *6* — pompe de răcire; *7* — canal de evacuare; *8* — conductă de amestec; *9* — încălzirea prizei; *10* — centrală hidroelectrică de recuperare a energiei.

za *1*, care se găsește în amonte de baraj. Rolul barajului este de a ridica nivelul apei și de a permite curgerea naturală a ei spre centrală. În denisipatorul *3*, apa, curgînd cu viteză redusă, depune o parte din suspensii, în mod obișnuit cele cu diametrul de peste 0,10—0,15 mm. Apa curge spre centrală prin conducta sau canalul de aducție. Înainte de a trece prin condensator, apa traversează casa sitelor, unde este curățată de suspensii și corpuri plutitoare și apoi se duce în sala mașinilor prin conducte. Pompele de apă de răcire refulează apa prin condensatoare, de unde este trimisă din nou în rîu prin canalul de evacuare. Prin conducta de amestec, în timpul iernii, o parte din apa caldă se poate amesteca cu apa rece, astfel încît temperatura la intrarea în condensator să nu scadă sub o valoare minimă, de obicei 5°C, iar prin conducta *9* se poate trimite un debit pentru încălzirea și dezgheța prizei. Figura I.77 reprezintă o soluție cu pompele de răcire funcționînd izolat cu fiecare condensator. Este sche-

Scanned with OKEN Scanner

ma care are cea mai largă răspîndire la CTE cu unități de putere mare.

Dacă sala mașinilor este foarte aproape de cheiul sau de malul apei, fiecare grup de pompe aferente unui grup turbogenerator poate avea o priză separată și numai apa caldă este restituită în aval printr-un canal comun. În cazul cînd apare o diferență de nivel, pe evacuare se poate instala o centrală hidroelectrică de recuperare a energiei.

În afară de schema din figura I.77, se pot folosi și următoarele variante de scheme de răcire în circuit deschis:

— Pompe legate între ele prin conducta comună (legate în paralel), pe partea de refulare; prin legarea pompelor în paralel există posibilitatea să se facă și un reglaj în trepte al debitului, util în special centralelor de termoficare și celor de vîrf.

— Stație centrală de pompe așezată, de obicei, la priza de apă (Fig. I.78); dacă

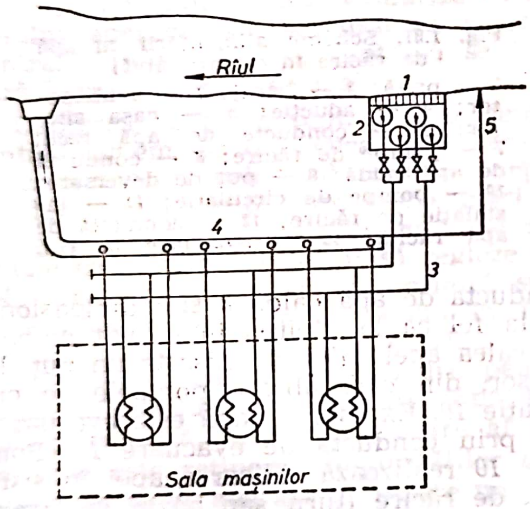


Fig. I.78. Schema alimentării cu apă de răcire, în circuit deschis, prin pompare:
1 — grătarele prizei; *2* — casa pompelor; *3* — conducte de apă rece sub presiune; *4* — conducte de evacuare; *5* — conductă de apă caldă.

diferența de nivel între rîu și clădirea principală este mare, se pot prevedea chiar două stații de pompare lucrînd în serie. Conducta de apă caldă *5* are rolul de a aduce apă caldă la priză pentru amestec și pentru a împiedica înghețul și depunerea zaiului pe grătare. Dimensiunile conductelor colectoare de refulare limitează aplicarea acestei scheme numai la instalațiile de putere mică și mijlocie, la care se urmărește avantajul reglării debitului în trepte.

— Schemă de răcire în circuit deschis, fără pompe; soluția este interesantă atunci, cînd panta rîului este accentuată și este posibil ca, prin diferența de nivel dintre priză și centrală, să se poată efectua curgerea liberă a apei prin condensatoare fără pompare.

— Schemă de răcire în serie; pentru reducerea consumului de apă în timpul iernii, condensatoarele a două turbine pot fi legate în serie în aceste perioade, cantitatea de apă de răcire necesară reducîndu-se la jumătate. La adoptarea acestei scheme trebuie să se țină seama de faptul că pompele de apă de răcire trebuie să poată acoperi rezistența hidraulică a ambelor circuite de răcire sau trebuie să se instaleze pompe suplimentare, așa cum este reprezentat în figura I.79.

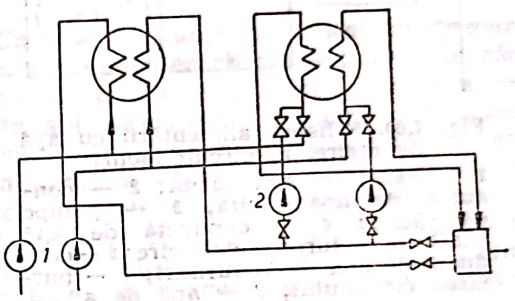


Fig. I.79. Schema de răcire în serie:
1 — pompe în instalația centrală de pompare; *2* — pompe suplimentare.

Soluția este aplicabilă pentru unele centrale de termoficare urbană la care cantitatea de căldură evacuată iarna din condensatoare este mică și încălzirea apei în condensator se face cu o valoare mult sub limitele economice.

I. de r. cu apă în circuit închis. Răcirea în circuit închis se folosește în situația cînd nu se dispune de apă suficientă pentru răcirea în circuit deschis sau cînd aceasta duce la soluții dezavantajoase din punct de vedere tehnico-economic. Apa de răcire care circulă în circuit închis cedează căldura preluată de la condensatoare în următoarele instalații: lacuri de răcire, bazine de stropire, turnuri de răcire cu tiraj natural sau cu tiraj forțat.

Temperatura apei de răcire în **i. de r.** în circuit închis este mai ridicată decît temperatura apei în rîu, valoarea depinzînd de tipul răcitoarelor folosite. În timpul verii, temperatura apei răcite poate depăși chiar 32—33°C. Prin aceasta, randamentul ciclului termic scade, diferența de randament între o CTE cu răcirea în circuit deschis și una cu răcire în circuit închis, cu turnuri de răcire cu tiraj natural, fiind de aproximativ 2%. Pompele de apă de răcire au o înălțime de refulare mai mare la **i. de r.** în circuit închis (16—

20 m) față de cele de la **i. de r.** în circuit deschis (6—10 m), aceasta atrăgînd după sine o majorare cu aproximativ 1% a cotei de consum a serviciilor interne ale centralei.

Schema generală a unei **i. de r.** în circuit închis este dată în figura I.80. La

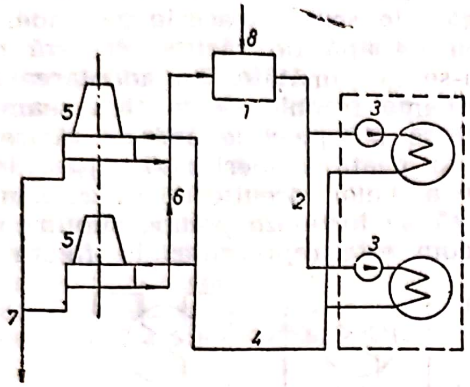


Fig. I.80. Schema alimentării cu apă de răcire, în circuit închis:
1 — bazin de apă răcită; *2* — conductă de apă răcită; *3* — pompe de răcire; *4* — conductă de apă caldă; *5* — turnuri de răcire; *6* — conductă de apă de la turnuri; *7* — purjarea circuitului; *8* — apă de adaos.

astfel de scheme, pompele sînt așezate în sala mașinilor. Apa rece este preluată de aceste pompe dintr-un bazin *1*, unde se aduce și apa de adaos. Conductele de apă răcită duc apa la pompe care o refulează prin condensatoare și, apoi, prin conducta de apă caldă sub presiune, la turnurile de răcire. Apa răcită în turnuri curge prin conducta *6*, iar purjarea se face prin conducta *7*.

I. de r. cu apă în circuit mixt. Acest sistem constă în suprapunerea unei **i. de r.** în circuit închis peste o **i. de r.** în circuit deschis. Răcirea în circuit deschis se poate menține separat pentru anumite instalații care au nevoie de apă mai rece (de exemplu, răcirea generatoarelor sau a răcitoarelor de ulei), în timp ce condensatoarele primesc apă amestecată. De obicei, răcirea se face, însă, mixt pentru toate instalațiile centralei, separarea anumitor unități aducînd dificultăți de realizare.

Schema unui circuit mixt de răcire este arătată în figura I.81, în care sînt folosite ca **i. de r.** turnuri de răcire cu tiraj forțat pentru suplinirea temporară a lipsei de apă. Se menționează, dealtfel, că sistemul de răcire în circuit mixt este folosit la majoritatea CTE construite în ultima vreme în R.S.R., deoarece cele mai multe din rîurile noastre interioare nu pot asigura debitele de apă de răcire pe tot timpul anului. Ca și la răcirea în circuit deschis, apa este captată din rîu prin priza *1*, este decantată în denisipator și adusă prin conducta de aducțiune *4*. În casa sitelor este curățat întreg debitul de răcire și este adusă apa răcită în **i. de r.** *11*. Conducta de apă rece, pompele și

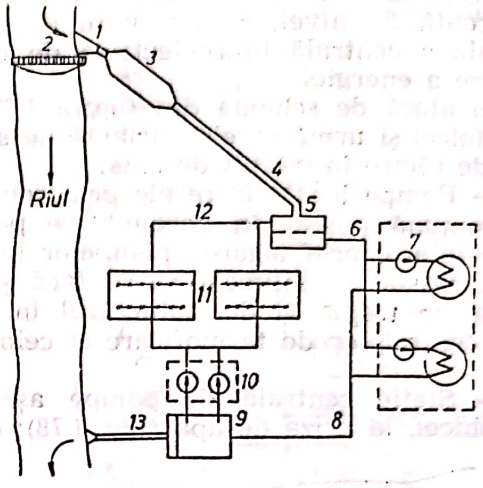


Fig. I.81. Schema alimentării cu apă de răcire în circuit mixt:
1 — priză; *2* — baraj; *3* — denisipator; *4* — aducție; *5* — casa sitelor; *6* — conducte de apă rece; *7* — pompe de răcire; *8* — conductă de apă caldă; *9* — puț de deversare; *10* — pompe de circulație; *11* — instalație de răcire; *12* — conductă de apă răcită; *13* — evacuare la rîu.

conducta de apă caldă *8* sînt dimensionate la fel ca la răcirea în circuit deschis. În calea apei calde se găsește un puț deversor, din care absorb pompele de circulație *10*. Excesul de apă este evacuat la rîu prin conducta de evacuare *13*. Pompele *10* realizează ridicarea apei în sistemul de răcire (turn sau bazin de stropire). La răcirea în circuit mixt, se preferă ca acestea să formeze o treaptă separată care funcționează numai pe durata necesară completării debitului din rîu. Prin conductele de apă răcită, debitul de la **i. de r.** ajunge în casa sitelor, care servește și drept bazin de amestec. Atunci cînd diferențele de nivel ale terenului permit o așezare în terase, schema de răcire în circuit mixt se poate aplica pornind de la un circuit deschis fără pompe, cu curgere liberă. Nivelul bazinelor turnurilor și al bazinului de amestec se vor găsi în acest caz la înălțime, deasupra cotei condensatoarelor, permițînd curgerea liberă a apei prin întreaga **i. de r.** Temperatura apei la intrarea în condensator este media ponderată a temperaturilor apei provenite de la rîu și de la turn.

Scanned with OKEN Scanner

Componentele unei **i. de r.** cu apă sînt: captările; prizele de apă; denisipatorul; canalele, conductele și instalațiile de curățare; lacurile de răcire; bazinele de stropire; turnurile de răcire. Pentru a prelua apa într-un punct al rîului se construiesc barajul și priza. Barajele captărilor pentru CTE sînt, de obicei, de mică înălțime, ridicarea necesară a nivelului apei fiind numai pentru regularizarea nivelului apei captate și curgerea ei spre centrală. În rîuri mari, captarea se face fără baraj, cu prize de mal.

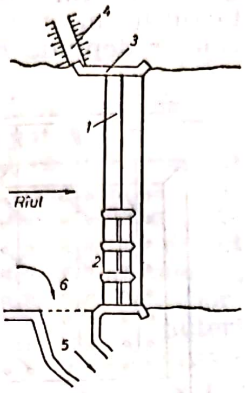


Fig. I.82. Captarea: *1* — baraj deversor; *2* — vane și stavile; *3* — apărare de mal; *4* — dig; *5* — captarea apei; *6* — grătare la priză.

Captarea pentru o centrală este reprezentată schematic în figura I.82. Barajul se compune în principal dintr-o porțiune deversantă, peste care apele mari se scurg, și o parte prevăzută cu vane sau stavile care au dublu scop: să regleze nivelul înaintea prizei și să permită spălarea aluviunilor care se depun în fața prizei. La viituri, vanele sau stavilele contribuie la evacuarea apelor mari, pentru limitarea eventualelor inundații. Apa, trecînd prin priză, întîlnește grătare al căror scop este reținerea impurităților plutitoare. Priza de apă are la intrare un grătar rar, fix pentru plutitorii mari și un grătar des, de obicei, grătar mecanic mobil cu curățare în mers.

Denisipatorul. Are rolul de a reține suspensiile din apă, evitînd înfundarea circuitului. Principiul funcționării se bazează pe liniștirea apei în camere în care viteza orizontală este atît de mică, încît granulele de un anumit diametru au timpul de a ajunge de la suprafață la fund. Funcționarea principală a unui denisipator reiese din figura I.83. Granulele mai mari se depun mai repede, iar spre capătul decantorului se depun granulele din ce în ce mai fine. Problema complicată, ridicată de exploatare, este aceea a îndepărtării depunerilor. Denisipatoarele perfecționate sînt prevăzute cu curățare în timpul funcționării și în mod continuu, așa cum se poate urmări în figura I.83. Spălarea de fund se realizează prin menținerea unui debit care antrenează depunerile prin grătarul *5*.

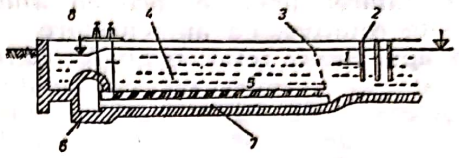


Fig. I.83. Secțiune printr-un denisipator: *1* — canal de intrare; *2* — bare de liniștire; *3* — grătar de liniștire; *4* — camera denisipatorului; *5* — grătar de fund cu palete; *6* — vană de spălare; *7* — canal de spălare; *8* — canal de ieșire a apei decantate.

Canale, conducte și instalații de curățare. Rețelele pentru traseul apei de răcire pot fi canale cu curgere liberă sau conducte sub presiune. În cazul conductelor și canalelor închise, dacă are loc o oprire a curgerii apei prin oprirea pompării, apare fenomenul de transformare a energiei cinetice în energie potențială — șoc hidraulic sau lovitură de berbec. Pentru a evita efectele acestuia și pericolul eventual de inundare cu apă a sălii mașinilor se construiesc bazine de echilibru.

Nodul hidraulic constituit de casa sitelor are următoarele funcțiuni (Fig. I.84): permite amestecul apei de la diferitele

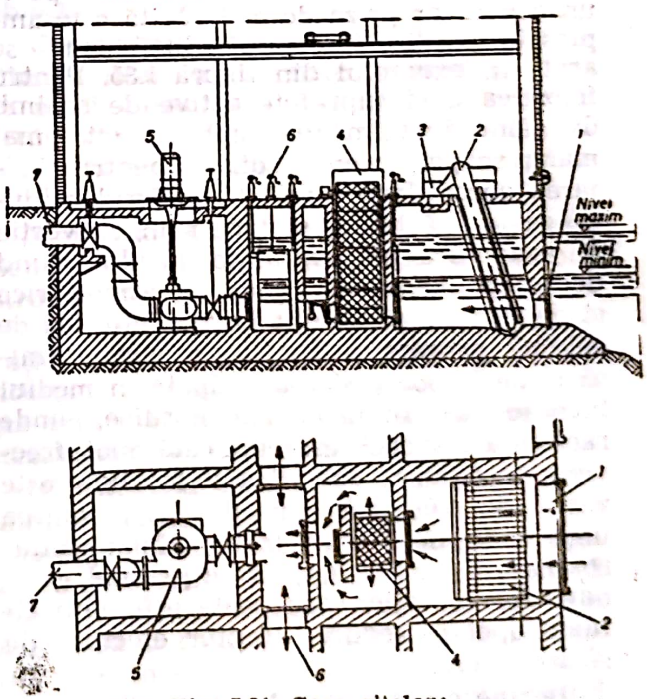


Fig. I.84. Casa sitelor: *1* — intrarea apei; *2* — grătar cu curățare mecanică; *3* — curățarea nămolului cu jet de apă; *4* — site rotative; *5* — canal de legătură; *6* — pompă; *7* — ieșirea apei curate.

surse de răcire; realizează izolarea diverselor traseuri prin închideri de trasee; reține materialul mărunt în suspensie, precum și cel apărut accidental pe traseul aducției și în bazinele turnurilor de răcire. Curățarea apei se face cu ajutorul unor site rotative, cu autocurățare, prin jet de apă. Sitele rotative au forma unor

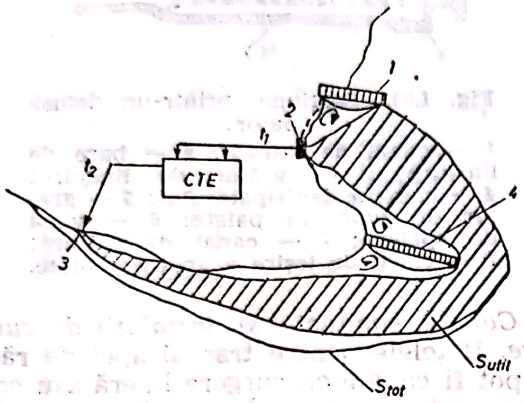


Fig. I.85. Lac de răcire:
1 — baraj pentru formarea lacului; *2* — priza; *3* — introducerea apei calde; *4* — diguri.

benzi rulante dispuse vertical sau înclinat, după cum rezultă și din figura I.84. Întotdeauna se aleg două site care funcționează în paralel.

Lacuri de răcire. Lacul de răcire poate fi natural sau amenajat, în care apa încălzită de la centrală este introdusă pe la un capăt, iar priza de apă răcită este amplasată în direcție opusă, după cum se arată în exemplul din figura I.85. Pentru folosirea unei suprafețe active de schimb de căldură cu mediul ambiant cît mai mare, se pot amenaja diguri pentru dirijarea curenților de apă. Transferul căldurii de la apă la aer se face prin convecție și evaporare pe suprafața lacului, fiind deci dependentă de condițiile atmosferice și de echilibrul stabilit între cantitatea de căldură primită de lac, de la sursa termică și de la soare și cea disipată în mediul înconjurător. În țările mai nordice, unde răcirea cu lacuri este aplicată mai frecvent, încărcarea specifică a lacului este uzual de 0,04—0,09 $m^3/m^2.h$. Exploatarea unor asemenea lacuri la un climat călduros ridică probleme speciale privind combaterea vegetației care poate influența difuzia apei și reduce simțitor efectul de răcire.

Bazine de stropire. Aceste răcitoare artificiale sînt amenajate în bazine de beton de formă dreptunghiulară, cu o adîncime de 1—1,5 m. Pe suprafața bazinului, se găsește o rețea de conducte de distribuție a apei calde, prevăzută cu pulverizatoare orientate în sus prin care apa este pulverizată cu o presiune în ajutaje de 5—10 m H_2O. Apa cade în bazin sub formă de ploaie fină, după ce s-a răcit în contactul intim avut cu aerul. Eficacitatea bazinelor depinde în mare măsură de direc-

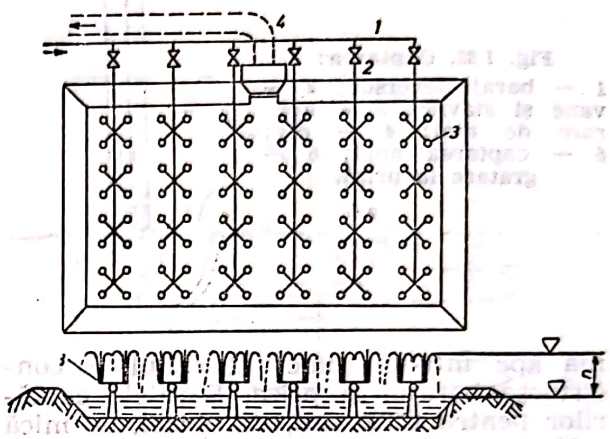


Fig. I.86. Bazin de stropire:
1 — conductă de aducere a apei; *2* — conductă de distribuție; *3* — ajutaje; *4* — canal de curgere a apei răcite.

ția și viteza vîntului. Vitezele mari ale aerului accentuează răcirea, dar produc antrenări masive de picături și, deci, pierderi de apă. Încărcarea specifică a suprafeței bazinului este de 0,8—1,2 $m^3/m^2.h$. În figura I.86, este arătată schema unui bazin de stropire. Se menționează că bazinele de stropire sînt deosebit de avantajoase pentru funcționarea intermitentă (nu au piese de lemn supuse putrezirii ca turnurile de răcire), în schimb ocupă o suprafață mai mare și au un efect de răcire sensibil mai redus.

Turnuri de răcire (v. Turn de răcire).

I. de r. cu aer. Dezvoltarea economică actuală și, mai ales, de perspectivă fac ca, cel mai uzual agent de răcire, apa, să devină deficitar cantitativ și calitativ, impunînd utilizarea aerului atmosferic ca primă alternativă. Ca agent de răcire aerul are o serie de avantaje: cost redus (legat doar de cheltuielile de curățare și transport), cantitate practic nelimitată, este necorosiv și neerosiv, relativ stabil la temperaturile de lucru, ușor de procurat. Dezavantajele aerului ca agent de răcire sînt legate de: căldura specifică mică, ceea ce impune debite mari pentru preluarea unei anumite cantități de căldură; densitate scăzută, necesitînd pentru un anumit debit masic o valoare mare pentru

debitul volumetric, deci puteri de pompare importante şi secţiuni mari de trecere; coeficienţi mici de transfer de căldură, ceea ce solicită suprafeţe mari de schimb de căldură.

În privinţa domeniului de aplicare, aerul se utilizează pentru răcirea sau condensarea unor fluide industriale, pentru condensarea aburului eşapat de la unele turbine cu abur şi pentru răcirea apei în turnuri de răcire umede, uscate sau hibride la CTE, CNE şi centrale solare electrice cu abur. Ca agent de răcire direct utilizat, aerul se întîlneşte, de asemenea, la mici instalaţii industriale, în transporturi şi la unele maşini electrice de puteri mici şi mijlocii. Limitele de competitivitate ale folosirii aerului ca agent de răcire sînt dictate de raţiuni tehnice, economice, de exploatare (incluzînd şi fiabilitatea sistemului global), precum şi de raţiuni legate de poluarea mediului înconjurător. Din această cauză, alegerea unuia sau a altuia dintre agenţii de răcire care se iau în discuţie se poate face doar în urma unei optimizări globale, folosind un criteriu complex care să fie dependent de elementele expuse mai sus.

Din punctul de vedere al modului de acţiune a aerului, **i. de r.** cu aer pot fi: **i. de r. cu aer** directe, la care aerul răceşte direct schimbătoarele de căldură în care circulă agentul de lucru sau **i. de r. cu aer** indirecte, în care caz aerul răceşte un agent intermediar care evoluează într-un circuit închis care trebuie răcit (Fig. I.87). Datorită existenţei cir-

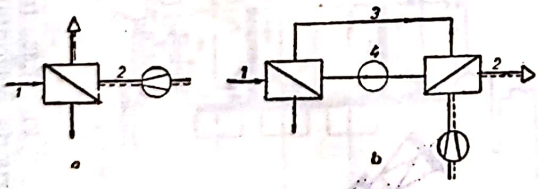


Fig. I.87. Schemele instalaţiilor de răcire cu aer:
a — sistem direct; *b* — sistem indirect;
1 — agent de lucru care trebuie răcit;
2 — aer de răcire; *3* — agent intermediar;
4 — organ de vehiculare (pompă sau ventilator) a fluidului intermediar.

cuitului închis, agentul intermediar practic nu se pierde şi nici nu se infestează. Cel mai utilizat agent intermediar este apa.

I. de r. cu aer, directe. Elementul principal al tuturor acestor **i. de r.** cu aer îl constituie schimbătorul de căldură, realizat în toate cazurile din ţevi nervurate. Poziţia, forma şi mărimea nervurilor, ca şi forma şi diametrul ţevilor pot varia din considerente constructive, termice sau economice. Principalele forme constructive sînt arătate în figura I.88.

Construcţia tip acoperiş (Fig. I.88 *a*) prezintă aspectul unui cort format din schimbătoarele de căldură aşezate înclinat sub unghiuri de 15—60°. Circulaţia aerului printre ţevile cu nervuri este realizată cu ajutorul unui ventilator aşezat la baza cortului, axul său fiind vertical. Fluidul care trebuie răcit sau condensat este distribuit printr-un colector superior în elementele de răcire, prin interiorul ţevilor. Fluidul răcit se evacuează pe la partea inferioară a ţevilor. Unul din avantajele acestei soluţii îl constituie economia de spaţiu, deoarece dezvoltarea instalaţiei are loc pe verticală. Sistemul se întîlneşte în special în industria chimică, unde limitările de spaţiu pe orizontală sînt deosebit de severe.

Construcţia orizontală presupune aşezarea panourilor cu ţevi în poziţie orizontală, ca în figura I.88 *b*. Circulaţia aerului este tot forţată, cu ajutorul ventilatoarelor situate sub elementele schimbătoare de căldură. Fluidul răcit circulă prin ţevi. Sistemul se întîlneşte la instalaţiile realizate în zonele aride, unde economia de spaţiu pe orizontală nu îşi găseşte obiect.

Construcţia verticală (Fig. I.88 *c*) se întîlneşte doar la sistemele de mică şi foarte mică capacitate. Panourile cu ţevile schimbătoare de căldură sînt aşezate vertical, sistemul avînd aspectul unui radiator de motor cu ardere internă.

Construcţia în V (Fig. I.88 *d*). Aşezarea panourilor este inversă soluţiei de la construcţia tip acoperiş, avînd forma literei V. Ventilatorul de aer lucrează prin aspiraţie faţă de sistemele anterioare, la care acesta lucrează prin refulare. Construcţia este mai puţin greoaie şi nu prezintă dezavantajele sistemului de tip acoperiş.

Construcţia circulară (Fig. I.88 *e*), întîlnită la sistemele industriale de mare capacitate şi la CTE şi CNE, presupune aşezarea panourilor schimbătoare de căldură după o circumferinţă. Ventilatorul este aşezat la o cotă mai înaltă decît panourile, prezentînd şi un mic difuzor în partea de refulare, întregul ansamblu avînd aspectul unui turn de răcire cu circulaţie forţată. Panourile cu ţevi nervurate sînt aşezate vertical, cap la cap, îmbrăcînd circumferinţa sau formînd, în secţiune transversală, triunghiuri echilatera-

Scanned with OKEN Scanner

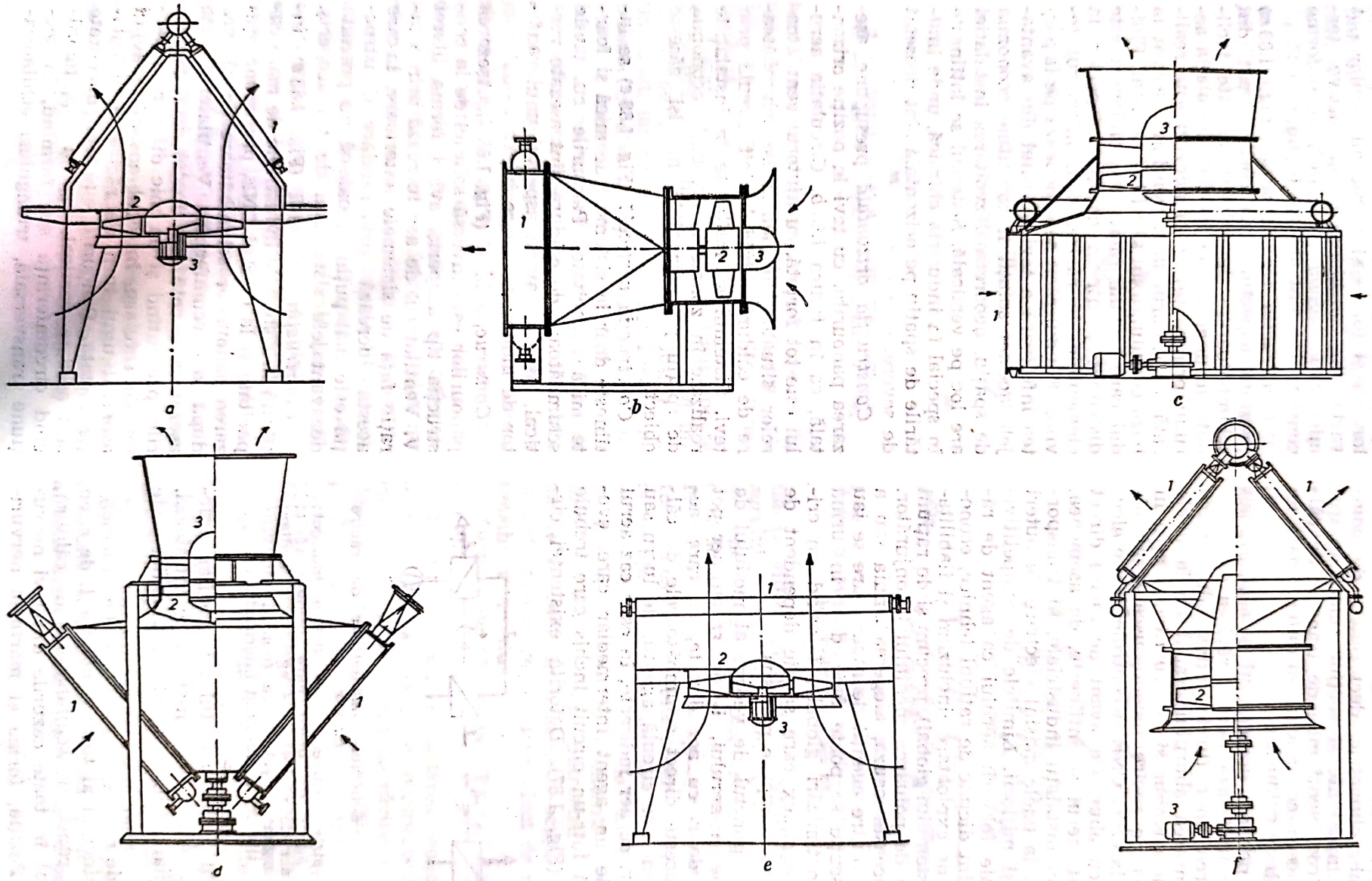


Fig. I.88. Instalaţii industriale directe de răcire cu aer:
a — construcţie tip acoperiş; *b* — construcţie orizontală; *c* — construcţie verticală; *d* — construcţie în V; *e* — construcţie circulară; *f* — construcţie de capăt; *1* — elemente de răcire; *2* — ventilator; *3* — motor de antrenare.

le, după așa-numitul „sistem delta". Colectoarele de intrare și de ieșire sînt circulare sau poligonale, așezate deasupra și sub panouri.

Construcția de capăt (Fig. I.88 *f*). Pentru coloanele de vid și de rectificare s-au realizat condensatoare cu aer montate pe sau în jurul vîrfului coloanelor, construcția putînd lua diverse variante în funcție de necesități. Avantajele principale sînt legate de economia de spațiu și de pierderea minimă de presiune pe partea produsului condensat. Elementele cu țevi nervurate sînt așezate în secțiuni gemene. În fața suprafețelor de răcire, între elementele gemene sînt prevăzute ajutaje pentru injecția apei în aerul de răcire, în perioadele cu temperaturi prea ridicate.

Toate tipurile industriale de **i. de r.** directe cu aer au circulația forțată a aerului, cu ajutorul unor ventilatoare axiale antrenate de motoare electrice asincrone cu rotor în scurt-circuit și prevăzute cu antrenare prin curea sau prin reductor de turație.

I. de r. cu aer indirecte. Au drept scop vehicularea unei cantități de căldură de la un proces industrial la aerul atmosferic, printr-un fluid intermediar, de obicei, apa. Sistemul se utilizează în industria siderurgică și metalurgică, în chimie, în industria sticlei și a materialelor de construcție etc. Avantajele acestui sistem sînt: nu solicită apă de răcire suplimentară (circuitul fiind închis, practic

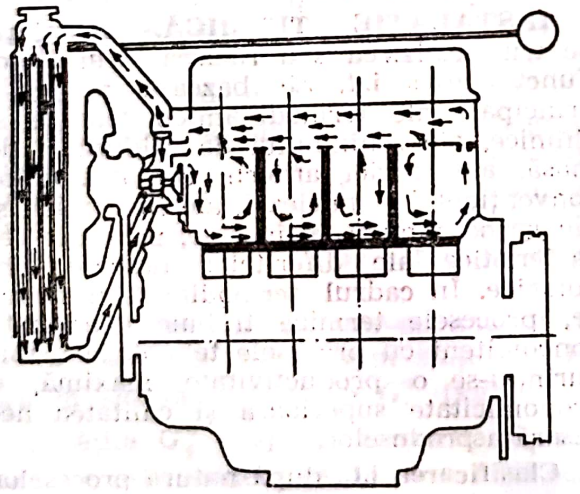


Fig. I.89. Schema circuitului de răcire cu aer a unui motor diesel rapid.

nu există pierderi); nu există depuneri în circuitul intermediar, apa fiind tratată; nu se produc nori sau ceață, lucru important pentru supravegherea instalațiilor în unele industrii.

În figura I.89 se indică o schemă de răcire a unui motor diesel rapid, montat pe o instalație transportabilă. Apa, în circuit închis, se încălzește în motor și se răcește în radiator, realizat ca un schimbător de căldură cu țevi nervurate sau din table profilate. La motoarele mici, radiatorul este monobloc, iar la cele mari, este compus din mai multe elemente legate la două bazine colectoare. În fața radiatorului se montează, de obicei, unul sau mai multe ventilatoare.

I. de r. cu aer în CTE. Lipsa de apă de răcire pentru CTE a condus la utilizarea răcirii cu aer în cele două sisteme: direct și indirect. Condensatorul cu aer se poate așeza fie pe acoperișul sălii mașinilor (Fig. I.90), micșorînd astfel ne-

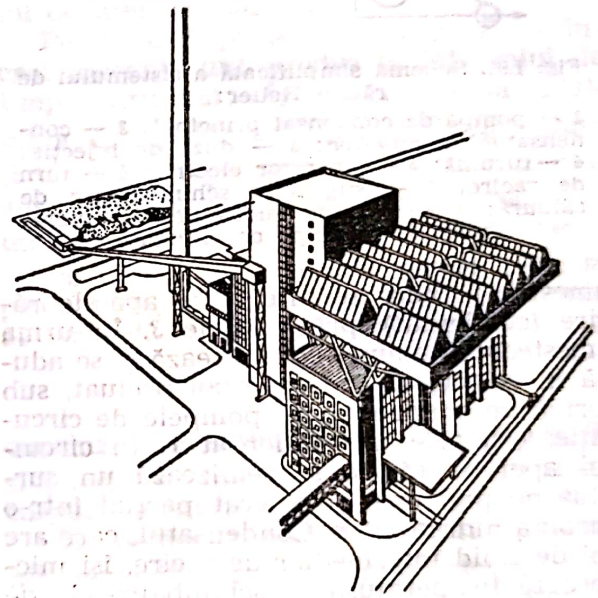


Fig. I.90. Exemplu de amplasare a condensatorului cu aer pe acoperișul sălii mașinilor. Instalația de condensare cu aer (sistem GEA) pentru un grup turbogenerator de 160 MW la centrala termoelectrică Utrillas, Spania.

cesarul de teren ocupat de centrală, dar impunînd întărirea fundațiilor, fie lîngă sala mașinilor. Elementele de răcire sînt alcătuite din țevi nervurate cu pas constant, intersanjabile, sau cu pas variabil, pentru îmbunătățirea transferului căldurii la scăderea diferenței de temperatură în direcția curgerii aerului. Vehicularea aerului se face cu ventilatoare, cîte unul pentru fiecare secțiune de condensator, formată de obicei din două panouri, așa cum se ilustrează în figura I.88 *a*. Sistemele directe de răcire cu aer s-au dezvoltat pentru puteri instalate ale grupurilor de la cîțiva kW pînă la centrale de 300—400 MW.

Scanned with OKEN Scanner

În figura I.91 este prezentată schema sistemului indirect de răcire cu aer, propus de profesorul Heller (denumit răcire Heller) în anul 1950. Aburul provenit din turbina *4* intră într-un condensator de

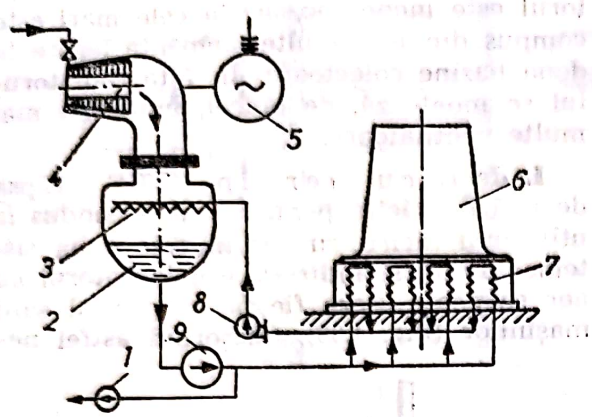


Fig. I.91. Schema simplificată a sistemului de răcire Heller:
1 — pompa de condensat principal; *2* — condensator de amestec; *3* — duze de injecție; *4* — turbină; *5* — generator electric; *6* — turn de răcire; *7* — suprafața schimbătoare de căldură; *8* — turbină hidraulică recuperatoare; *9* — pompă de circulație.

amestec în care se injectează apă de răcire (condensat) prin duzele *3*. În urma amestecului, aburul condensează și se adună în colectorul *2*, fiind apoi preluat, sub formă de condensat, de pompele de circulație *9* și cele de condensat *1*. În circuitul apei de răcire se realizează un surplus de presiune, recuperat parțial într-o turbină hidraulică *8*. Condensatul, care are rol de fluid intermediar de răcire, își micșorează temperatura în schimbătoarele de căldură *7*, aflate la baza turnului de răcire *6*. Din motive legate de anumite limitări, impuse de existența condensatorului de amestec (calitate deosebită a apei de răcire, probleme de cavitație la pompele de circulație, coroziunea materialelor, țevilor etc.), în ultimul timp se adoptă soluția folosirii unui condensator de suprafață. În acest fel, sistemul indirect de răcire cu aer în CTE și CNE devine, conceptual, identic cu cel întîlnit la celelalte ramuri industriale (Fig. I.92).

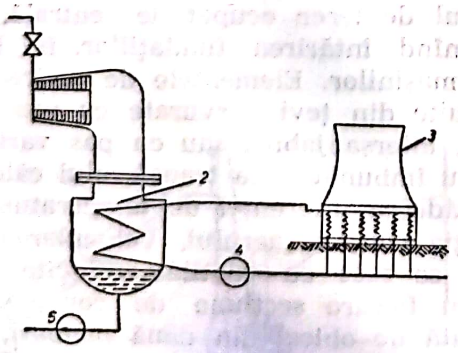


Fig. I.92. Răcire indirectă cu aer, cu condensator de suprafață;
1 — turbină cu abur; *2* — condensator de suprafață; *3* — turn de răcire; *4* — pompă de circulație; *5* — pompă de condensat principal.

I. de r. industriale. Procedeele și **i. de r.** industriale sînt foarte variate, putîndu-se grupa în două moduri: pe tipuri de industrii (chimică, metalurgică, electrotehnică, construcții) și pe tipuri de platforme industriale integrate (îngrășăminte azotoase, alimentare, siderurgice). O clasificare a **i. de r.** industriale se poate face și în funcție de scopul propus de utilizator, deosebindu-se următoarele categorii de instalații: pentru evacuarea căldurii de reacție sau de dizolvare, pentru răcire în vederea cristalizării sărurilor din soluții, de răcire în vederea uscării gazelor, de lichefiere a gazelor industriale, de separare a amestecurilor de gaze prin distilare și rectificare, de separare a amestecurilor prin extracție sau prin absorbție, de răcire pentru întărirea produselor moi, de răcire în vederea efectuării tratamentelor termice ale metalelor, de îmbinare la rece, de răcire în tehnologia prelucrării metalelor, de răcire în laboratoarele industriale, de răcire în construcțiile industriale, de răcire pentru climatizările industriale, de răcire a agregatelor energetice din cadrul instalațiilor tehnologice.

INSTALAȚIE DE TERMOFICARE. v. Termoficare.

INSTALAȚIE TERMICĂ. Instalație pentru încălzirea sau răcirea unui fluid. Funcționarea **i.t.** se bazează pe legile principale ale termodinamicii tehnice și chimice, ale schimbului de căldură și de masă, ale teoriei arderii combustibililor convenționali și nucleari, ale hidraulicii și ale gazodinamicii și, în fine, pe legile caracteristice ale diferitelor procese tehnologice. În cadrul termodinamicii tehnice, procesele termice trebuie examinate concomitent cu procesele tehnologice, asigurîndu-se o productivitate maximă, o economicitate superioară și calitatea necesară a produselor.

Clasificarea i.t., după natura proceselor care au loc în acestea, este următoarea:

— i.t. bazate pe transferul de căldură: schimbătoare de căldură, recuperatoare de căldură, regeneratoare de căldură, instalații de vaporizare, expandoare, instalații de distilare și rectificare etc.;

— i.t. bazate pe transferul de căldură și de masă: degazoare, turnuri de răcire, instalații de uscare, instalații de condiționare și climatizare etc.;

Scanned with OKEN Scanner

— **i.t. de ardere, gazeificare și prelucrare termică a combustibililor solizi:** focare, cuptoare, reactoare nucleare, instalații de gazeificare, instalații de prelucrare termică a cărbunilor etc.

INSTALAȚIE TERMICĂ DE FORȚĂ. Ansamblu de instalații și mașini legate funcțional între ele, cu ajutorul cărora se poate produce energie mecanică din căldură. **I.t. de f.** cuprind motoarele cu ardere internă, turbinele cu gaze, motoarele cu reacție, reactoarele și instalațiile de forță cu vapori produși într-un generator de vapori (cazan), de un reactor nuclear, de un cazan solar sau de un schimbător de căldură recuperator.

I.t. de f. funcționează în urma trecerii prin ele a unui sistem termodinamic (de obicei un gaz) care suferă diferite transformări termodinamice, după care este evacuat în atmosferă sau revine la starea inițială. O **i.t. de f.** primește căldură sau o altă formă de energie de la o sursă exterioară de căldură (sursa caldă) și cedează căldură unei alte surse (sursa rece). În unele elemente ale instalației (sau unele transformări) se produce lucrul mecanic (transformări motoare), iar în alte elemente ale instalației (sau transformări) se consumă lucru mecanic, diferența reprezentînd lucrul mecanic util produs de **i.t. de f.**

În urma transformărilor motoare care au loc în instalație, entropia sistemului termodinamic (a gazului) care trece prin instalație crește. Readucerea lui în starea inițială implică o serie de transformări consumatoare de lucru mecanic, care au loc cu scădere de entropie.

Condițiile de funcționare a sistemului ce constituie o **i.t. de f.** sînt determinate de cele două principii ale termodinamicii, care în regim staționar de funcționare se exprimă prin bilanțuri de cantitate, energie și entropie.

Astfel, admițînd că, într-un anumit interval de timp și în regim staționar, intră în sistem cantitățile G_i^a [kg] și ies cantitățile G_i^b [kg] din corpurile G_i respective, este evident că, în baza legii conservării masei, trebuie satisfăcută relația de bilanț de masă:

$$\sum_1^n G_i^a = \sum_1^n G_i^b,$$

Pentru corpurile care în cursul trecerii lor prin **i.t. de f.** nu își schimbă natura chimică, rezultă $G_i^a = G_i^b$. Pentru acele corpuri ($i=1,\ldots,$ k) între care au loc relații de tipul:

$$m_1^0 C_1 + m_2^0 C_2 + \ldots + m_j^0 C_j = m_{j+1}^0 C_{j+1} + m_{j+2}^0 C_{j+2} + \ldots + m_k^0 C_k,$$

este însă evident că $G_i^a \neq G_i^b$, relația între aceste mărimi putînd fi exprimată în forma:

$$G_i = G + m_i^0 M_i w_i \tau,$$

unde m_i^0 reprezintă coeficientul stoichiometric respectiv din reacția chimică (pozitiv pentru produși și negativ pentru reactanți); M_i — masa moleculară; w_i — viteza de reacție respectivă; τ — intervalul de timp considerat.

Pe de altă parte, notînd cu L — lucrul mecanic util produs în intervalul de timp considerat; H_a și H_b — suma entalpiilor corpurilor $C_1, C_2, \ldots, C_n$ la intrare și la ieșire; Q_a — suma cantităților de căldură primite de la sursa caldă (sau a altor forme de energie); Q_b — suma cantităților de căldură cedate sursei reci, se poate scrie, în virtutea primului principiu al termodinamicii, bilanțul termic:

$$H_a + Q_a = L + H_b + Q_b,$$

cuprinzînd eventual în mărimile H_a și H_b și energiile cinetice, pe care le au unele corpuri la intrarea și ieșirea din **i.t. de f.**

De asemenea, notînd cu S_a și S_b — suma entropiilor corpurilor la intrarea și la ieșirea din sistem; ΔS — suma creșterilor entropiilor în urma ireversibilității; T_a și T_b — temperaturile medii la care au loc schimburile de căldură Q_a și Q_b, rezultă din al doilea principiu al termodinamicii:

$$\Delta S = \left(S_b + \frac{Q_b}{T_b}\right) - \left(S_a + \frac{Q_a}{T_a}\right).$$

Introducînd temperatura T_0 a mediului ambiant, se obține:

$$L = (H_a - T_0 S_a) - (H_b - T_0 S_b) + Q_a \left(1 - \frac{T_0}{T_a}\right) - Q_b \left(1 - \frac{T_0}{T_b}\right) - T_0 \cdot \Delta S.$$

Este știut că, pentru o transformare deschisă 1—2, variația capacității de lucru mecanic este exprimată prin relația:

$$\Delta L_0 = (H - T_0 S)_2 - (H - T_0 S)_1.$$

Pentru potenţialul ($H—T_0S$), reprezentînd capacitatea de lucru mecanic, s-a propus denumirea de *exergie*. Variaţia capacităţii de lucru este negativă, dacă în cursul transformării se produce lucru mecanic (cazul maşinilor termice de forţă) şi pozitivă, în cazul unui consum de lucru mecanic (cazul maşinilor de lucru).

De asemenea, pentru o sursă de căldură, se defineşte drept lucru mecanic maxim sau energia căldurii, mărimea:

$$\Delta L_0^s = -Q\left(1-\frac{T_0}{T}\right). \qquad (8)$$

Deci, atunci cînd un corp (agent termic) absoarbe căldură ($Q>0$), $\Delta L_0 <0$; rezultatul este contrar $\Delta L_0 >0$, atunci cînd corpul (agentul termic) cedează căldură ($Q<0$).

Ca urmare:

$$L+\Delta L_0+[(\Delta L_0^s)_a]-(\Delta_0^s)_b+T_0\cdot\Delta S=0.$$

Interpretînd termenii din paranteză drept suma variaţiilor capacităţilor de lucru ale schimburilor de căldură Q_a şi Q_b, adică a fluxului de căldură, şi notînd-o cu $-\Delta Q$, se obţine:

$$L+\Delta L_0+\Delta L_0^Q+T_0\cdot\Delta S=0.$$

Într-o **i.t. de f.**, lucrul mecanic util se produce prin scăderea capacităţilor de lucru ale fluxurilor de corpuri şi de căldură.

În mod curent, $Q_a=0$ şi se poate admite $Q_b=0$; neglijîndu-se pierderile de căldură:

$$L+\Delta L_0+T_0\cdot\Delta S=0.$$

Dacă, în plus, transformările din **i.t. de f.** au loc în mod reversibil, $\Delta S=0$, astfel că ecuaţia devine:

$$L_{max}+\Delta L_0=0$$

pentru lucrul mecanic util maxim realizabil în condiţii ideale.

I.t. de f. va fi cu atît mai economică, cu cît lucrul mecanic util produs în condiţiile curente de funcţionare va fi mai apropiat de valoarea sa maximă, ceea ce se exprimă prin coeficientul de calitate:

$$\eta=L/L_{max}.$$

Pentru cazul curent, cu $Q_a=Q_b=0$, acest coeficient devine:

$$\eta=1+\frac{T_0\cdot\Delta S}{\Delta L_0}.$$

Sensul mărimilor ΔS şi ΔL_0 fiind cel arătat mai sus, coeficientul de calitate η reprezintă randamentul termic η al unui ciclu motor ireversibil. Aceasta constituie justificarea că, din punct de vedere termodinamic, funcţionarea **i.t. de f.** poate fi urmărită pe cicluri ireversibile, în virtutea proprietăţilor termodinamice ale acestora. Se menţionează că întotdeauna $\eta<1$, deoarece $\Delta S>0$, iar $\Delta L <0$.

Clasificarea **i.t. de f.** În general, **i.t. de f.** cuprind următoarele tipuri de instalaţii:

a) **Motoare cu ardere internă,** clasificate în mod obişnuit după următoarele criterii:

— după natura combustibilului: motoare cu gaz sau combustibili lichizi uşor volatili şi motoare pentru combustibili lichizi grei;

— după modul de introducere a combustibilului: motoare la care combustibilul se introduce odată cu aerul, sub formă de amestec (motoare cu gaz şi motoare cu carburator) şi motoare cu injecţie separată a combustibilului (motoare cu autoaprindere şi motoare cu cap incandescent);

— după natura arderii, din punct de vedere termodinamic: motoare cu ardere izocoră, motoare cu ardere izobară şi motoare cu ardere mixtă (izocoră şi izobară).

b) **Instalaţii de forţă cu turbine cu gaze,** clasificate:

— după ciclul termic efectuat: instalaţii de turbine cu gaze în circuit deschis şi instalaţii de turbine cu gaze în circuit închis; fiecare dintre aceste categorii cu una sau mai multe trepte de comprimare sau destindere;

— după construcţia camerei de ardere: instalaţii de turbine cu gaze cu ardere izobară şi instalaţii de turbine cu gaze cu ardere izocoră.

c) **Motoare cu reacţie,** clasificate după următoarele criterii:

— după modul de introducere a oxigenului necesar pentru ardere: motoare cu comburant lichid (rachete) şi motoare cu aer (reactoare);

— după natura comprimării aerului (presiunea în camera de ardere): motoare cu reacţie, cu comprimare dinamică (statoreactoare) şi motoare cu reacţie cu compresor (turboreactoare).

d) **Instalaţii de forţă cu abur,** folosite atît ca instalaţii staţionare în industrie şi în centralele electrice, cît şi ca instalaţii mobile pe locomotive şi vapoare. Instalaţiile de forţă cu abur sînt instalaţii cu ardere externă, de regulă în circuit închis, în care căldura obţinută prin arde-

Scanned with OKEN Scanner

rea combustibilului se transmite agentului motor, care efectuează ciclul necesar pentru transformarea căldurii în energie mecanică. Ciclul de bază al instalațiilor de forță cu abur este ciclul Rankine, alcătuit din următoarele transformări teoretice ale agentului motor: comprimare adiabatică (în pompa de alimentare), vaporizare izobară (în generatorul sau cazanul de abur), destindere adiabatică (în mașina termică propriu-zisă, de regulă o turbină cu vapori) și condensare izobară (în condensator).

Agentul motor este, în mod curent, apa-aburul. Ca alte posibilități întîlnite în practică se menționează: ciclurile termice cu agenți frigorifici (freon, amoniac, dioxid de carbon); instalațiile binare, cu două cicluri suprapuse (cu mercur, respectiv, cu apă-abur); instalațiile mixte abur-gaze (care cuplează instalațiile termice cu abur cu cele cu turbină cu gaze).

Ca sursă de căldură la instalațiile de forță cu abur se deosebesc: căldura rezultată prin arderea combustibililor convenționali, energia nucleară, energia solară, energia geotermală, căldura reziduală a unor procese industriale etc.

Ciclul general de funcționare al i.t. de f. În conformitate cu principiul al doilea al termodinamicii, orice **i.t. de f.** trebuie să cuprindă cel puțin două surse de căldură de temperaturi diferite și un agent motor, care schimbînd succesiv căldura cu cele două surse de căldură, parcurge în mod continuu anumite transformări a căror succesiune constituie un ciclu.

Ca sursă de căldură (sursa caldă) servește, de exemplu, efectul termic al reacțiilor exoterme de ardere a combustibilului, agentul motor primind căldura la temperatura T_a. Drept receptor de căldură (sursă rece) servește mediul ambiant, care poate fi aerul atmosferic, apa din rîuri, lacuri etc., la temperatura T_0. În afară de aceste două surse de căldură, denumite principale, agentul motor mai poate avea schimburi de căldură cu încă un număr oarecare de surse termice, la temperaturi cuprinse între T_a și T_0.

Transferul de căldură de la sursa caldă la agentul motor are loc la diferență finită de temperatură, astfel încît agentul motor se încălzește de la o temperatură inițială oarecare pînă la o temperatură maximă $T_{max} \leqslant T_a$ (teoretic $T_{max} = T_a$). În cursul absorbției de căldură de la sursa caldă, agentul motor parcurge o transformare termodinamică AB (Fig. I.93), comportînd variații de volum și de presiune. În mod asemănător, cedarea de căldură către sursa rece are ca urmare răcirea agentului motor, de la o temperatură inițială oarecare pînă la o temperatură minimă $T_{min} \geqslant T_0$ (teoretic $T_{min} = T_0$). În cursul cedării de căldură către sursa rece, agentul motor parcurge transformarea termodinamică CD, comportînd de asemenea variații de presiune și de volum.

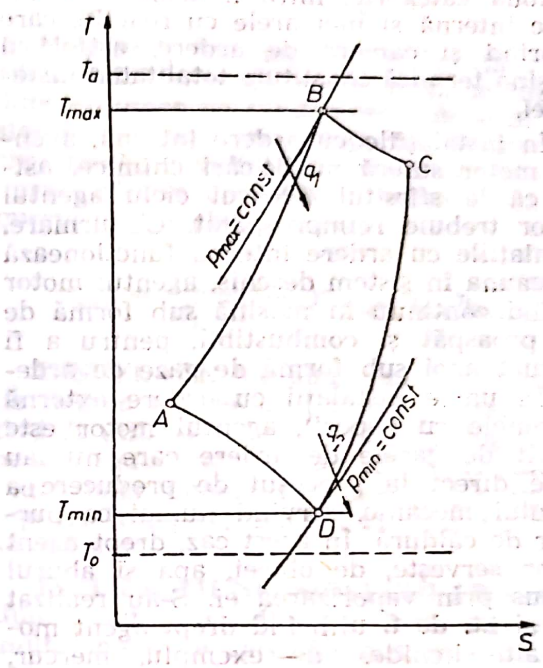


Fig. I.93. Ciclul general al unei instalații termice de forță.

În figura I.93, punctele B și D reprezintă stările agentului motor corespunzătoare presiunilor și temperaturilor maxime și minime. În consecință, transformările BC și DA reprezintă o destindere, respectiv, o comprimare a agentului motor. În ipoteza încetării absorbției de căldură în starea B și în lipsa oricărui alt schimb de căldură, destinderea BC este adiabatică. În ce privește comprimarea DA, aceasta are loc în condiții adiabatice. Conturul $ABCDA$ constituie ciclul general de funcționare al oricărei **i.t. de f.** Elementele care compun **i.t. de f.** trebuie să permită realizarea transformărilor care formează ciclul. Pentru realizarea destinderii servește mașina termică propriu-zisă, iar pentru realizarea comprimării se folosește un compresor sau o pompă, în funcție de starea de agregare a agentului motor în timpul comprimării. În unele cazuri (motoare cu ardere internă), este posibil să se reunească în același agregat mașina termică și compresorul, cilindrul servind atît pentru comprimarea, cît și pentru destinderea agentului motor.

Arderea combustibilului are loc într-un spațiu închis, denumit focar sau cameră

Scanned with OKEN Scanner

de ardere. După poziția spațiului de ardere față de mașina termică propriu-zisă, se deosebesc **i.t. de f.** cu ardere externă și **i.t. de f.** cu ardere internă. În prima categorie, intră instalațiile de forță cu abur și instalațiile cu turbine cu gaze, la care camera de ardere sau focarul sînt separate de mașina termică propriu-zisă. În a doua categorie, intră motoarele cu ardere internă și motoarele cu reacție, care cuprind și camera de ardere, astfel că mașina termică constituie totalitatea instalației.

În instalațiile cu ardere internă, agentul motor suferă modificări chimice, astfel că la sfîrșitul fiecărui ciclu agentul motor trebuie reîmprospătat. Ca urmare, instalațiile cu ardere internă funcționează totdeauna în sistem deschis, agentul motor intrînd continuu în mașină sub formă de aer proaspăt și combustibil, pentru a fi evacuat apoi sub formă de gaze de ardere. În unele instalații cu ardere externă (turbinele cu vapori), agentul motor este diferit de gazele de ardere care nu iau parte direct la procesul de producere a lucrului mecanic, servind numai ca purtător de căldură. În acest caz, drept agent motor servește, de obicei, apa și aburul produs prin vaporizarea ei. S-au realizat însă și **i.t. de f.** utilizînd drept agent motor alte lichide, de exemplu, mercur, agenți frigorifici în instalațiile cu turbine de vapori sau gaze, de exemplu, aer, argon, heliu în instalațiile cu turbine cu gaze. În instalațiile lucrînd cu un agent motor diferit de gazele de ardere, funcționarea **i.t. de f.** se poate realiza în circuit închis, prin recircularea continuă a agentului motor.

Faptul că agentul motor lucrează în circuit deschis sau închis nu constituie o deosebire esențială, deoarece din punct de vedere termodinamic funcționarea în circuit deschis, cu reînnoirea periodică sau continuă a agentului motor, este echivalentă cu funcționarea în ciclu, închiderea ciclului realizîndu-se convențional printr-o succesiune de transformări fictive, adaptate condițiilor reale de lucru. Trebuie însă precizat că ciclul de funcționare al **i.t. de f.** astfel obținut nu se referă la mașina termică propriu-zisă, ci la întreaga instalație de forță, în cadrul căreia mașina termică nu reprezintă decît mecanismul în care are loc producerea de lucru mecanic. Faptul că motoarele cu ardere internă reprezintă și totalitatea **i.t. de f.** constituie un caz particular.

Randamentul i.t. de f. Ciclurile reale de funcționare ale **i.t. de f.** sînt cicluri ireversibile, astfel încît funcționarea lor este legată de pierderi inevitabile de energie mecanică.

Ireversibilitatea unui ciclu poate fi separată într-o parte externă și una internă. Dacă se face abstracție de fenomenul de ardere, care este ca atare ireversibil, atunci ireversibilitatea externă se datorește, în primul rînd, faptului că transferul de căldură între agentul motor și sursele de căldură are loc cu diferențe finite de temperatură, ceea ce atrage după sine pierderi de energie utilă, ca urmare a creșterii entropiei. În plus, mai intervin și pierderi cantitative, la transferul căldurii de la sursa caldă la agentul motor, în urma faptului că o parte din căldura cedată de sursa caldă trece direct către mediul înconjurător sau către sursa rece, fiind astfel pierdută pentru procesul de transformare a căldurii în lucru mecanic. Dacă se notează prin Q_1' cantitatea de căldură cedată efectiv de sursa caldă, atunci numai o parte Q_1 este preluată efectiv de agentul motor. Notînd cu ν coeficientul de pierdere cantitativă de căldură, rezultă:

$$Q_1=(1-\nu)Q_1'.$$

Valoarea coeficientului de pierderi ν depinde evident de natura **i.t. de f.** și de condițiile în care are loc cedarea de căldură de către sursa caldă. Astfel, la **i.t. de f.** cu ardere internă, pierderile de căldură se rezumă la cantitatea de căldură cedată prin pereții camerei de ardere către mediul exterior, respectiv aer sau apă de răcire. În schimb, în instalațiile cu ardere externă, la care gazele de ardere nu pot fi răcite sub o anumită limită, determinată de considerații constructive și economice, pierderile de căldură cuprind și căldura sensibilă a gazelor de ardere evacuate. În asemenea condiții, pierderea cantitativă de căldură poate deveni importantă. În cazul particular de **i.t. de f.** cu abur, coeficientul de pierderi rezultă din randamentul cazanului de abur η_{caz}, adică:

$$\nu=1-\eta_{caz}. \qquad (16)$$

Ireversibilitatea externă nu se resfrînge asupra agentului motor și funcționării mașinii termice propriu-zise, astfel că la studiul acestora se poate face abstracție de ea, lucru care însă nu poate fi făcut la studiul **i.t. de f.** în ansamblu.

Ireversibilitatea internă se datorește lucrului mecanic de frecare. În urma aces-

tor pierderi (externe şi interne), ciclurile reale ale **i.t. de f.** diferă de ciclurile teoretice şi *lucrul mecanic indicat* (L_i), corespunzător ciclului real, este mai mic decît *lucrul mecanic teoretic* (L_t), corespunzător ciclului teoretic. În afară de aceasta, funcţionarea reală a mecanismelor componente din **i.t. de f.** (maşini termice, compresoare, pompe) este legată de pierderi mecanice provocate de frecările şi şocurile care intervin între piesele în mişcare relativă, astfel încît *lucrul mecanic efectiv* (L_e) obţinut este şi mai redus.

Relaţia dintre lucrul mecanic indicat şi lucrul mecanic efectiv se exprimă cu ajutorul **randamentului mecanic:**

$$\eta_m = \frac{L_e}{L_i}.$$

Întrucît toate fenomenele care reduc valoarea lui L_e faţă de L_i sînt fenomene de natură ireversibilă, se foloseşte pentru exprimarea relaţiei dintre lucrul mecanic teoretic şi lucrul mecanic indicat noţiunea de **randament intern** dat de relaţia:

$$\eta_i = \frac{L_i}{L_t}.$$

Valoarea randamentului intern exprimă gradul de ireversibilitate internă a ciclului **i.t. de f.**

Randamentul efectiv al ciclului se defineşte ca raportul dintre lucrul mecanic efectiv obţinut şi cantitatea de căldură efectiv primită de agentul motor de la sursa caldă:

$$\eta_e = \frac{L_e}{Q_1} \cdot \frac{L_e}{L_i} \cdot \frac{L_i}{L_t} \cdot \frac{L_t}{Q_1} = \eta_i \eta_i \eta_m.$$

Studiul cantitativ al pierderilor mecanice nu fac obiectul termodinamicii, astfel încît în continuare se face abstracţie de ele şi deci de randamentul mecanic, studiindu-se numai randamentul termic şi randamentul intern. În acest scop, se introduce noţiunea de **randament indicat,** definit prin raportul dintre lucrul mecanic indicat al ciclului şi cantitatea de căldură efectiv primită de agentul motor de la sursa caldă:

$$\eta_{ind} = \frac{L_i}{Q_1} = \eta_t \eta_i.$$

Revenind la **i.t de f.** ca un complex, se defineşte drept **randament general** al instalaţiei raportul dintre lucrul mecanic efectiv obţinut şi cantitatea de căldură efectiv cedată de sursa caldă în cursul ciclului:

$$\eta_{gen} = \frac{L_e}{Q_1} = (1-\nu)\eta_e = (1-\nu)\eta_t \eta_i \eta_m =$$

$$= \eta_{caz} \eta_t \eta_i \eta_m.$$

Neglijînd, ca mai sus, influenţa randamentului mecanic al **i.t. de f.,** se introduce noţiunea de **randament indicat al instalaţiei,** definit prin raportul dintre lucrul mecanic indicat şi cantitatea de căldură efectiv cedată de sursa caldă în cursul unui ciclu:

$$\eta_{ind}^{inst} = \frac{L_i}{Q_1'} = (1-\nu)\eta_{ind} = \eta_{caz} \eta_{ind}.$$

INSUFLARE (cu abur sau aer). Proces de dozare a agentului termic, acesta putînd fi utilizat fie ca fluid tehnologic, fie pentru îndepărtarea unor depuneri solide, sau a unor lichide vîscoase de pe suprafeţe de lucru (v. Suflătoare cu aer şi abur).

INTERACŢIUNE MOLECULARĂ. Acţiune naturală dintre două sau mai multe molecule care, în mişcarea lor, se apropie destul de mult între ele. Interacţiunea reprezintă o ciocnire, în sens larg, în cursul căreia se poate produce fie numai un transfer de energie cinetică de deplasare (de translaţie), fie şi un transfer de energie, datorită căruia molecula receptoare se polarizează sau trece într-o stare excitată în care creşte energia electronilor.

INTERVAL DE FIERBERE. Interval între temperatura la care începe şi la care se termină fierberea unei soluţii binare.

În cazul unui lichid pur (monocomponent), trecerea din fază lichidă în fază gazoasă (fierberea) se realizează la o temperatură fixă (temperatura de saturaţie) care depinde de natura lichidului şi de presiunea la care se realizează procesul. Această temperatură rămîne constantă tot timpul cît durează transformarea de fază.

La amestecurile în stare lichidă, spre deosebire de corpurile pure, temperatura nu se mai menţine constantă în timpul transformării fazei, ci creşte pe măsură ce creşte cantitatea de vapori formaţi. În acest caz, există, deci, un interval de temperatură a cărui mărime depinde, pentru o anumită presiune, de proprietăţile componenţilor şi de concentraţia acestora în soluţie.

În cazul unei soluţii formate din doi componenţi (soluţie binară), starea solu-

Scanned with OKEN Scanner

ției este precizată, în afară de presiune și temperatură, și de compoziția calitativă a soluției. Această compoziție este determinată de concentrația soluției referitoare la unul din componenți:

$$\xi = \frac{m_B}{m} = \frac{m_B}{m_A + m_B},$$

în care: ξ este concentrația componentului B în soluție și reprezintă cantitatea din componentul B care se găsește în unitatea de cantitate de soluție binară; m_A — masa componentului A conținută în cantitatea de soluție m; m_B — masa componentului B conținută în cantitatea de soluție m.

Pentru $\xi=0$, soluția binară se reduce numai la componentul A care se vaporizează pentru o presiune dată la t_A, iar pentru $\xi=1$, numai la componentul B care se vaporizează la aceeași presiune, la temperatura t_B.

Spre exemplu, pentru soluția hidroamoniacală (H_2O+NH_3), utilizată ca agent de lucru în instalațiile frigorifice cu absorbție, pentru presiunea de 760 mmHg, $t_A=t_{H_2O}=100$ °C și $t_B=t_{NH_3}=-33{,}4$ °C.

Procesul de vaporizare al soluției binare se deosebește de cel al lichidului simplu. În figura I.94 este prezentată for-

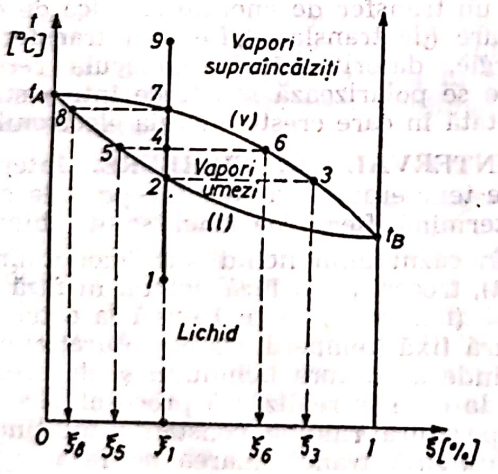


Fig. I.94. Procesul de vaporizare la presiune constantă a unei soluții binare.

ma generală, de principiu, a diagramei de echilibru corespunzătoare unei soluții binare formată din componenții A și B având, pentru o presiune dată, temperaturile de saturație $t_A>t_B$. Fie un punct 1 în domeniul lichid, caracterizat prin concentrația ξ_1 și temperatura t_1. Presupunînd că încălzirea se face la presiune constantă (cazul uzual al realizării proceselor de fierbere), concentrația lichidului se menține aceeași, iar temperatura crește. În momentul în care se atinge temperatura t_2 corespunzătoare punctul 2 aflat pe curba (I) care este curba de saturație a lichidului, începe procesul de vaporizare. Se constată că primii vapori formați, prin vaporizarea lichidului de concentrație ξ_2, au temperatura t_2, dar o concentrație ξ_3 mai ridicată (punctul 3). Continuînd încălzirea se constată că temperatura crește, în timp ce concentrația vaporilor formați și a lichidului rămas, scade. Astfel pentru o temperatură t_4, cele două faze în echilibru au concentrațiile ξ_6 — vaporii și respectiv ξ_5 — lichidul. Valoarea concentrației amestecului de lichid și vapori (sistemului bifazic în ansamblu) rămîne aceeași, adică $\xi_4=\xi_2$. Procesul continuă în același mod, astfel încît, în final, vaporii vor avea concentrația ξ_7, egală cu concentrația inițială a lichidului ξ_1, ultimele picături de lichid care se vaporizează fiind caracterizate prin concentrația ξ_8. Curba V reprezintă curba de saturație a vaporilor și marchează sfîrșitul procesului de transformare de fază. Dacă se continuă încălzirea, vaporii saturați corespunzători stării 7 se vor supraîncălzi (de exemplu starea 9), concentrația rămînînd constantă.

Dacă se presupune o cantitate de soluție egală cu unitatea, atunci suma dintre cantitatea de vapori φ, care caracterizează o stare oarecare a sistemului bifazic, de exemplu starea 4 din figura 1, și cantitatea de lichid δ rămasă, este de asemenea egală cu unitatea:

$$\delta + \varphi = 1.$$

Deoarece masa sistemului este constantă, rezultă:

$$\xi_1 = \xi_4 = \xi_6 \cdot \delta + \xi_5 \cdot \varphi,$$

fracțiunile δ și φ putînd fi exprimate prin relațiile:

$$\delta = \frac{\xi_4 - \xi_5}{\xi_6 - \xi_5}; \quad \varphi = \frac{\xi_6 - \xi_4}{\xi_6 - \xi_5}.$$

La soluțiile binare, spre deosebire de lichidele pure, temperatura de vaporizare la presiune constantă variază în cadrul unui interval care depinde de concentrația soluției. Vaporii, care se formează la un moment dat, au concentrația diferită de cea a lichidului din care provin și numai la sfîrșitul procesului concentrația lor ajunge la valoarea concentrației inițiale.

Scanned with OKEN Scanner

INTERVAL DE SOLIDIFICARE. Interval între temperatura la care începe şi la care se termină solidificarea unui aliaj sau a unui amestec (cu excepţia eutecticelor).

În cazul unui corp pur, trecerea din fază lichidă în fază solidă se realizează la o temperatură fixă, care depinde de natura corpului şi de presiune şi care rămîne constantă în timpul desfăşurării procesului.

La amestecuri, spre deosebire de corpurile pure, temperatura nu se mai menţine constantă în cursul solidificării, ci scade pe măsură ce creşte masa de material solid format. În acest caz, există, deci, un interval de temperatură a cărui mărime depinde de proprietăţile componenţilor şi de concentraţia acestora în cadrul amestecului.

În funcţie de structura rezultată după solidificare, există trei situaţii caracteristice în ceea ce priveşte modificarea intervalului de solidificare, în raport cu modificarea concentraţiei componenţilor.

a) Componenţii care, după solidificare, nu sînt dizolvaţi unul în celălalt în nici o proporţie, ci îşi păstrează fiecare caracteristicile iniţiale, astfel încît, corpul solid rezultat este format dintr-un amestec mecanic al celor doi componenţi.

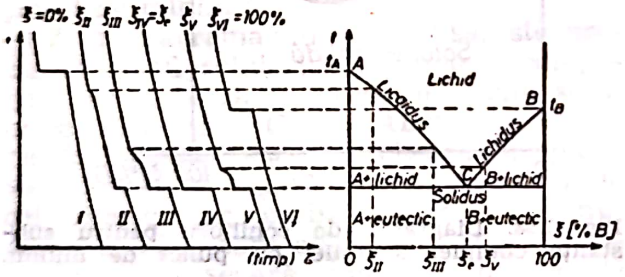


Fig. I.95. Curbele de răcire şi diagrama de echilibru la substanţele ce formează amestecuri simple, în stare solidă.

În fig. I.95 sînt prezentate curbele de răcire şi diagrama de echilibru pentru un amestec format din doi componenţi *A* şi *B*, în diferite concentraţii. Curbele de răcire sînt notate cu I ... VI. Curbele I şi IV corespund solidificării componenţilor puri *A* şi *B*, remarcîndu-se existenţa unei singure temperaturi de solidificare. Curbele II, III şi V corespund solidificării unor amestecuri de diferite concentraţii. Se remarcă existenţa unei temperaturi de început de solidificare, variabilă în raport cu concentraţia şi a unei temperaturi de sfîrşit de solidificare, aceeaşi pentru orice concentraţie. Dacă se adaugă la componentul *A* sau *B* proporţii crescînde din celălalt component, temperatura de început de solidificare scade treptat, după curbele *AC* şi, respectiv, *BC*. La concentraţia corespunzătoare punctului *C*, solidificarea se realizează întocmai ca la un corp pur, temperatura rămînînd constantă în cursul procesului şi intervalul de solidificare devenind nul. Corpul solid rezultat are o structură caracteristică, numită *eutectic*, format din cristale alternînde din cei doi componenţi *A* şi *B*. Ca urmare, punctul *C* care are temperatura cea mai coborîtă, corespunzătoare solidificării eutecticului, poartă denumirea de *punct eutectic*, avînd concentraţia ξ_e.

La solidificarea unui amestec, avînd concentraţia cuprinsă în intervalul O–ξ_e, la atingerea temperaturii corespunzătoare unui punct de pe curba *AC*, începe să se solidifice din amestecul lichid componentul *A*. Pe măsură ce temperatura scade, se solidifică o cantitate din ce în ce mai mare din componentul *A*, în timp ce *B* rămîne lichid şi, ca urmare, concentraţia creşte. La atingerea temperaturii de eutectic, concentraţia a ajuns la concentraţia de eutectic, ξ_e, şi, începînd din acest moment, componenţii *A* şi *B* se solidifică împreună, sub formă de eutectic, temperatura rămînînd constantă pînă la sfîrşitul procesului. Corpul solid rezultat este format dintr-un amestec din componentul *A* şi eutectic.

La solidificarea unui amestec avînd concentraţia cuprinsă între ξ_e şi 100, începe să se solidifice întîi componentul *B*. Pe măsura scăderii temperaturii, creşte cantitatea solidificată din componentul *B* şi, ca urmare, scade concentraţia. Atingerea temperaturii de eutectic se realizează concomitent cu atingerea concentraţiei de eutectic şi de aici înainte componenţii *A* şi *B* se solidifică împreună sub formă de eutectic. Corpul solid rezultat este un amestec format din componentul *B* şi eutectic.

În diagrama de echilibru, curbele *AC* şi *BC* separă domeniul lichid de domeniul bifazic (solid+lichid), purtînd denumirea de *curbe liquidus* şi marcînd începutul solidificării. Orizontala corespunzătoare punctului *C* separă domeniul bifazic de domeniul solid, purtînd denumirea de *curbă solidus* şi marcînd sfîrşitul solidificării.

Curbele „liquidus" şi „solidus" determină intervalul de solidificare.

Amestecurile mai importante care prezintă diagrame de acest tip sînt aliajele

Scanned with OKEN Scanner

Pb-Ag, Pb-Sb, Cu-Cu_2O etc. și soluțiile de săruri în apă (Fig. I.96).

b) Componenții care, după solidificare, pot da soluții solide parțiale sau totale.

Acest caz se poate prezenta în două variante:

1. În diagrama din figura I.97 este prezentat cazul unei solubilități parțiale în stare solidă. Curbele AC și BC sînt curbele „liquidus" de început de solidificare, iar curbele AaC și BbC sînt curbele „solidus" de sfîrșit de solidificare. În dome-

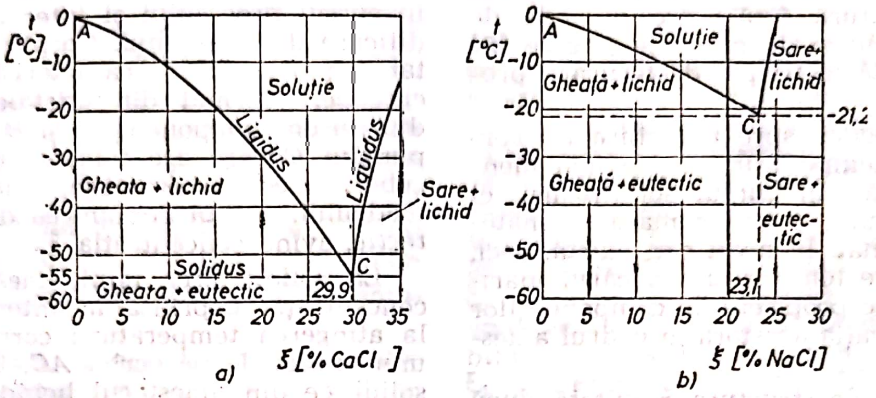


Fig. I.96. Diagramă de echilibru pentru saramura de clorură de calciu (*a*) și pentru saramura de clorură de sodiu (*b*).

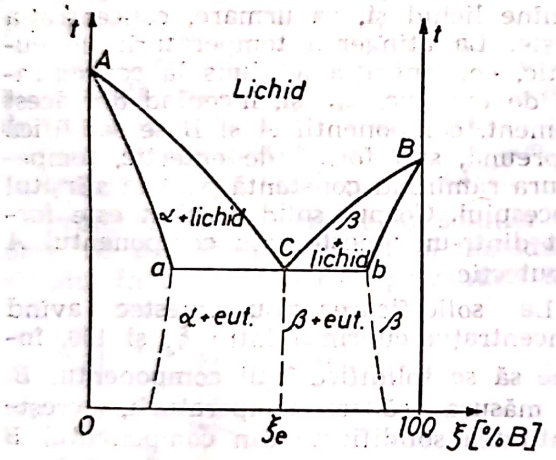


Fig. I.97. Diagramă de echilibru pentru substanțe parțial solubile.

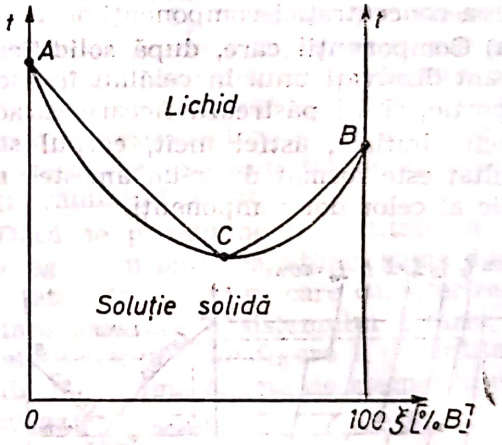


Fig. I.98. Diagramă de echilibru pentru substanțe complet solubile, cu punct de minim.

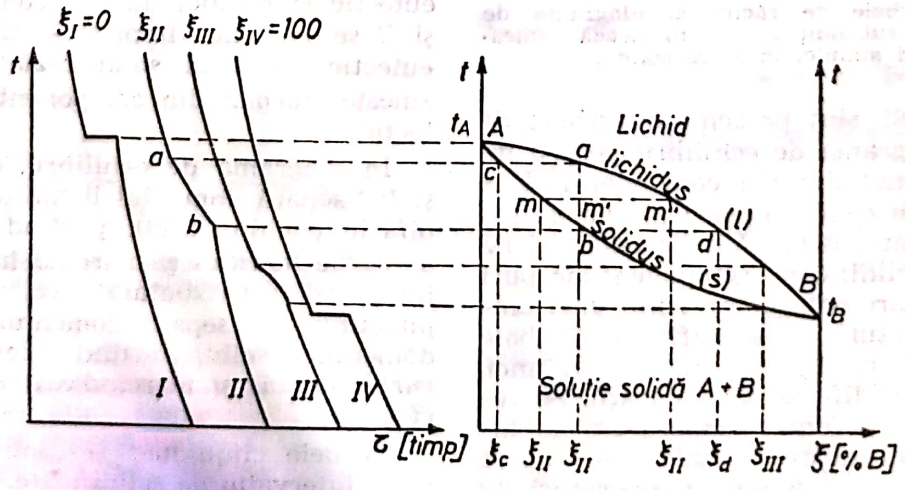


Fig. I.99. Curbele de răcire și diagrama de echilibru pentru substanțe prezentînd solubilitate totală, în orice proporție.

niile $0—\xi_a$ și $\xi_b—100$, cei doi componenți se solidifică formînd soluții solide. Soluția solidă a componentului B în A poartă denumirea de soluție α, iar soluția solidă a componentului A în B poartă denumirea de soluție β. Pentru concentrația corespunzătoare punctului E intervalul de solidificare devine nul și solidificarea are loc la temperatură constantă, sub formă de eutectic. În domeniul $\xi_a—\xi_e$ și, respectiv, $\xi_e—\xi_b$ în intervalul de solidificare se formează mai întîi soluția solidă α, respectiv β. La atingerea temperaturii de eutectic, lichidul are concentrația ξ_e și, în continuare, solidificarea se desfășoară la temperatură constantă, formîndu-se eutectic. În acest caz, însă, eutecticul nu mai este format din componenții puri A și B, ci din soluțiile solide α, respectiv β. Corpul solid format este constituit dintr-un amestec de soluție solidă α, respectiv β și eutectic.

Ca exemple de acest tip sînt aliajele Ag-Cu, Al-Sn, Cd-Sn etc.

Pe măsură ce crește solubilitatea reciprocă a celor doi componenți în stare solidă, punctele a și b se apropie, pentru ca la limită, cînd solubilitatea tinde să devină completă, să coincidă, obținîndu-se diagrama din figura I.98, caracteristică aliajelor Cu-Mn. Sub curba ACB există un singur fel de cristale, corespunzătoare soluției solide, diagrama prezentînd un punct de minim C.

2. În diagrama din figura I.99, este prezentat cazul solubilității totale a componenților A și B, în orice proporție și în orice condiții. Curba ALB reprezintă *curba liquidus*, care marchează începutul solidificării și separă domeniul lichid de cel bifazic, iar curba ASB reprezintă *curba solidus*, care marchează sfîrșitul solidificării și separă domeniul bifazic de cel solid. Corpul solid rezultat este o soluție solidă a celor doi componenți. Caracteristic pentru solidificarea soluțiilor solide este faptul că dau naștere la cristale solide neomogene. Cînd temperatura atinge temperatura de început de solidificare — punctul a din diagrama din figura I.99 — se solidifică soluție solidă de concentrație săracă în componentul B și bogată în componentul A. Pe măsură ce scade temperatura, crește concentrația soluției solide. La o temperatură oarecare, punctul m din diagramă, coexistă în echilibru faza solidă de concentrație $\xi_{II} > \xi_e$ și faza lichidă de concentrație $\xi_{II}^{II} > \xi_{II}$. Ultimele picături de lichid care se solidifică au concentrația ξ_d. Deoarece diferitele straturi care se solidifică au compoziții diferite, iau naștere cristale cu aspect zonar, numite *cristale zonare*, neomogene sau dendritice. Dacă însă acestea, după solidificare, sînt încălzite, devin omogene.

c) Componenții care formează în stare solidă un compus chimic de forma A_mB_n.

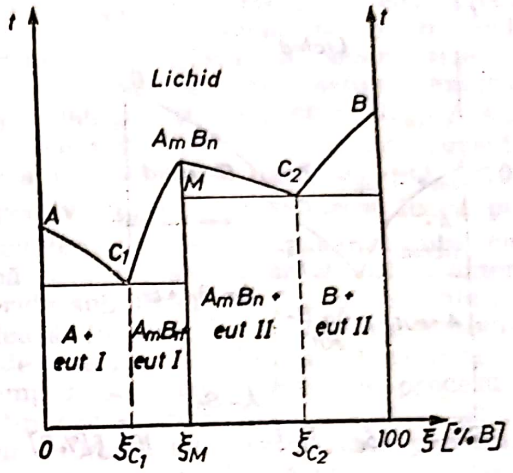


Fig. I.100. Diagramă de echilibru pentru cazul formării unui compus A_mB_n care nu se descompune.

Acest caz prezintă, de asemenea, două variante:

1. Compusul se formează în timpul solidificării și nu se descompune în timpul acestui proces. În această situație, curba „liquidus" prezintă un maxim și diagrama de echilibru are aspectul prezentat în figura I.100, reducîndu-se la două diagrame asemănătoare cu cazul substanțelor pure care dau simple amestecuri în stare solidă. Dacă soluția lichidă are concentrația inițială cuprinsă în domeniul $0 \ldots \xi_{e_1}$, solidificarea începe la o temperatură corespunzătoare unui punct de pe curba AC_1. Din soluție se solidifică componentul A. La atingerea temperaturii de eutectic, concentrația lichidului a crescut la concentrația de eutectic și solidificarea se face în continuare la temperatură constantă, sub formă de eutectic, format din component A și compusul solid A_mB_m. La concentrația ξ_{e_1}, se formează numai eutectic, intervalul de solidificare devenind nul. În domeniul $\xi_{e_1} \ldots \xi_M$, începutul solidificării corespunde unui punct de pe curba C_1M. Se solidifică mai întîi compusul solid A_mB_n, iar la atingerea temperaturii de eutectic solidificarea se desfășoară în continuare la temperatură constantă formîndu-se primul tip de eutectic. La concentrația ξ_M, se formează direct compusul A_mB_n, fără existența intervalului de

solidificare. În domeniul $\xi > \xi_M$, procesele sînt similare, numai că eutecticul este de alt tip, format din compusul A_mB_n și componentul B, iar corpul solid rezultat este format din compusul A_mB_n și eutectic în domeniul $\xi_M \dots \xi_{e_2}$ și componentul B și eutectic în domeniul ξ_{e_2}—100%.

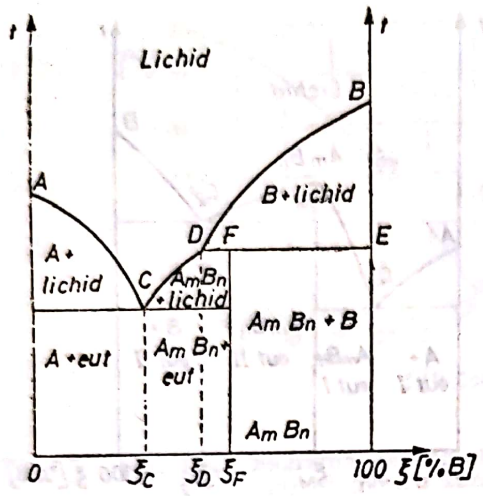


Fig. I.101. Diagramă de echilibru cu punct de tranziție.

2. Compusul nu se formează de la începutul solidificării, ci în cursul acestui proces prin reacție dintre solidul parțial format și restul de lichid. În acest caz, diagrama de echilibru capătă aspectul din figura I.101. La temperaturile D și E, compusul, în loc să treacă direct din compus solid în stare lichidă; se schimbă într-un lichid de concentrație ξ_D și într-un solid de compoziție diferită de cea originală, corpul pur B, după care se topește complet. La solidificare, se separă mai întîi corpul B, care reacționează cu lichidul, pentru a forma compusul solid A_mB_n. Punctul D în care lichidul reacționează cu solidul B pentru a da naștere compusului A_mB_n se numește *punct de tranziție*. Modelul acesta de reacție este cunoscut sub numele de *transformare peritectică*.

Dacă compusul solid formează soluții solide cu ceilalți componenți, forma diagramei este mult mai complicată și se pot obține structuri care nu mai concordă cu regula fazelor a lui Gibbs. Un exemplu în acest sens îl constituie aliajul Cu-Zn (alama) a cărui diagramă de echilibru este prezentată în figura I.102. Se poate observa că aliajele care conțin cel mult 32,5% Zn (punctul B) sînt formate după solidificarea numai din cristale de soluție solidă.

Aliajele, a căror concentrație este cuprinsă între 32,5% și 39% Zn (linia BCD), suferă modificări în cursul solidificării. La temperatura de 905°C, intervine o reacție peritectică între cristalele deja formate

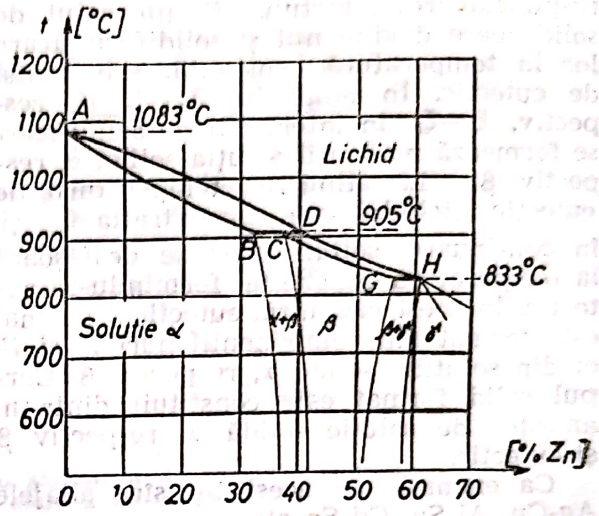


Fig. I.102. Diagramă de echilibru pentru aliajul Cu—Zn (alamă).

(B) și topitura rămasă nesolidificată (D). Această reacție reversibilă:

$$\text{solid } \alpha + \text{lichid} \rightleftarrows \text{solid } \beta$$

dă naștere unor cristale de soluție solidă, denumită soluție β a cărei compoziție este indicată de abscisa punctului C. În porțiunea BC, reacția este incompletă, astfel încît în aceste aliaje vor coexista, după solidificare, ambele feluri de soluție solidă, α și β. Limitele de stabilitate ale soluției α sînt cuprinse între 37% Zn (punctul C) și 56,5% Zn (punctul G).

La aliajele care conțin mai mult de 56,5% Zn (punctul G) apare o nouă soluție solidă, denumită β. Acest solid, fiind, însă, foarte fragil, nu se utilizează în practică.

INTERVAL DE TEMPERATURĂ. 1. Interval, exprimat în grade de temperatură, între temperaturile de început și de sfîrșit ale unui proces, între temperaturile care definesc două stări termodinamice, între valorile minimă și maximă în care poate fi cuprinsă temperatura unui corp, a atmosferei etc.

2. Distanță cuprinsă între două repere oarecare ale scării gradate a unui termometru.

IONI. Atomi, grupe de atomi sau radicali ce posedă sarcini electrice pozitive sau negative, datorate cîștigului sau pierderii unuia sau a mai multor electroni. I. există în diferite medii: apă sau orice

solvent cu constantă dielectrică mare, topituri ale electroliților și în diferitele stări de agregare ale materiei: în soluții și topituri (lichidă), în cristale ionice, în gaze ionizate.

După *semnul sarcinii electrice*, **i.** se împart în: **negativi sau anioni, pozitivi sau cationi** și **amfoteri,** care posedă atît sarcini electrice pozitive, cît și negative, iar sarcina netă depinde de *p*H-ul mediului. **I.** amfoteri mai sînt cunoscuți și sub numele de **amfiioni** sau **zwitterioni.**

După *complexitate*, **i.** se împart în: **simpli,** constituiți dintr-un singur element: F^-, Cl^-, Br^-, I^-, Na^+, Ca^{2+}, Al^{3+}, Sn^{4+} etc.; **complecși** rezultați prin unirea unui elemente: NO_3^-, CO_3^{2-}, SO^{2-}, PO_4^{3-}, SiO_4^{4-} etc.; **complecși,** rezultați prin unirea unui cation sau anion cu molecule nedisociate, ca de exemplu: $AgCN+CN^- \rightarrow Ag(CN)^-$ $Cu^{2+}+4NH_3 \rightarrow Cu(NH_3)_4^{2+}$.

În soluții, **i.** leagă un număr de molecule de solvenți polari, fenomen denumit *solvatare*. Cu cît raza **i.** este mai mică, cu atît solvatarea este mai puternică (numărul de molecule de solvent legate este mai mare). Cînd solventul este apa, fenomenul se numește *hidratare*. Ca exemplu poate fi dat **i.** de hidrogen H^+ (protonul), care în soluție apoasă nu este în stare liberă, ci leagă o moleculă de apă, formînd **i.** de hidroniu sau oxoniu H_3O^+.

IONIZARE. Proces în urma căruia un atom, o moleculă sau un radical primește sau pierde electroni, trecînd în ioni. **I.** se realizează prin dizolvare în apă sau alți solvenți polari, prin topire, prin descărcare electrică în gaze, sau trecerea radiațiilor ionizante prin gaze.

IREVERSIBIL (Proces). Proces care nu poate fi inversat. Proces după a cărui desfășurare de la starea *a* la starea *b* nu poate reveni în starea inițială de la *b* la *a* prin reproducerea, în ordine inversă, a tuturor stărilor intermediare *a*—*b*.

Dacă un sistem trece dintr-o stare inițială *a* într-o stare finală *b*, printr-un **p.i.**, nu există nici o posibilitate prin care sistemul să poată fi readus la starea inițială *a* pe același drum. Toate procesele din natură prezintă această caracteristică. Principalele cauze care determină caracterul ireversibil al proceselor reale sînt: viteza finită de desfășurare, existența unei diferențe finite între parametrii de stare ai sistemului și parametrii de stare corespunzători ai mediului exterior, existența frecărilor (care apar la suprafețele de separație dintre corpurile aflate în mișcare relativă și interne datorate vîscozității și turbulenței), difuzia etc. În conformitate cu primul principiu al termodinamicii, pe ansamblul celor două procese (direct și invers), variația energiei interne este nulă ($\Delta U=0$), dacă se revine la starea inițială și, ca urmare, $Q_{dir}+Q_{inv}=L_{dir}+L_{inv}$. Calea inversă, fiind diferită de cea directă, din cauza neconcordanței microstărilor intermediare, diferă și schimburile de energie efectuate cu mediul exterior: $|Q_{dir}|\neq|Q_{inv}|$ și respectiv $|L_{dir}|\neq|L_{inv}|$. Experiența arată că nu se poate reveni în starea inițială decît dacă $Q_{dir}+Q_{inv}<0$ și respectiv $L_{dir}+L_{inv}<0$. Acest lucru pune în evidență faptul că, pe ansamblul celor două procese, se consumă din exterior energie sub formă de lucru mecanic și se cedează, în schimb, o cantitate echivalentă de energie sub formă de căldură. Ca exemplu, se poate considera procesul de destindere — comprimare a unui gaz, într-un cilindru cu piston. Dacă pistonul se mișcă cu o viteză finită w, moleculele gazului, din imediata vecinătate a feței pistonului, se vor mișca cu aceeași viteză w. Cele mai depărtate de piston vor avea o viteză mai mică, iar cele din partea opusă pistonului, lîngă peretele cilindrului, rămîn în repaus (făcînd abstracție de mișcarea termică a moleculelor), apărînd la microstare un gradient de presiune în lungul cilindrului. Concomitent, apare și un gradient de temperatură, întrucît, considerînd că sînt îndeplinite condițiile echilibrului local, în fiecare punct, în conformitate cu ecuația de stare, există o altă valoare a temperaturii. La destindere, presiunea este mai mică lîngă piston și mai mare în partea opusă. La inversarea mișcării, moleculele sînt accelerate de către piston, astfel încît repartiția presiunii se inversează. Presiunea este mai mare lîngă piston și mai mică în partea opusă. La destindere, presiunea pe fața pistonului (p') fiind mai mică decît presiunea medie a gazului (p), lucrul mecanic elementar efectuat de gaz este $\delta L_d=p'dv<pdv$, iar la comprimare, presiunea pe fața pistonului fiind mai mare decît presiunea medie, lucrul mecanic elementar primit de gaz este $|\delta L_c|=|p'dv|>pdv|$.

Aducerea volumului gazului înapoi la mărimea inițială, prin comprimare, s-a făcut, deci, pe o cale total diferită de cea corespunzătoare destinderii și a necesitat din exterior un lucru mecanic mai mare decît cel care, pentru aceeași variație de volum, a fost efectuat la destindere. Considerînd cilindrul izolat, lucrul mecanic primit în plus determină creșterea energiei interne a gazului, astfel că, aducînd volumul la mărimea inițială, presiunea și temperatura vor avea, după atingerea stă-

Scanned with OKEN Scanner

rii de echilibru, valori mai ridicate decît cele corespunzătoare stării inițiale. Obținerea stării inițiale nu se poate face decît printr-o răcire izocoră astfel încît, în final, energia consumată sub formă de lucru mecanic a fost cedată înapoi mediului exterior, dar sub formă de căldură. Dezechilibrul extern, provocat de diferența finită între parametrii de stare ai sistemului și parametrii de stare exteriori, determină apariția unor fluxuri termodinamice în sensul anulării sale. Starea sistemului se va modifica cu viteză finită, în condițiile apariției dezechilibrului intern, cu consecințele menționate anterior. Dacă granița sistemului este mobilă, o diferență finită de presiune (Δp) față de presiunea mediului exterior (p_e), provoacă deplasarea acesteia cu o anumită viteză și ca urmare a apariției în interiorul sistemului a unui gradient de presiune și respectiv de temperatură. La destindere, lucrul mecanic elementar efectuat de sistem asupra mediului exterior este:

$$\delta L_d = p_e dv = (pL\Delta p)dv < p'dv < pdv,$$

în timp ce pentru procese inverse de comprimare, sistemul primește din exterior lucrul mecanic elementar $|\delta L_c| = |p_e dv| = |(p'+\Delta p)dv| > |p'dv| > |pdv|$. Ireversibilitatea se amplifică în acest caz, deoarece existența unei diferențe de presiune $\Delta p = |p' - p_e|$, între exterior și interior la granița mobilă a sistemului, mărește diferența dintre procesul direct și cel invers și, respectiv, între lucrurile mecanice schimbate cu mediul exterior, corespunzător celor două căi. Aducerea sistemului înapoi în starea inițială implică, deci, transferul către mediul ambiant în mod irevocabil a unei cantități mai mari de căldură. Dacă granița sistemului este imobilă, modificarea stării sistemului nu se poate face decît dacă acesta este pus în contact cu o sursă de căldură de temperatură diferită de a sa. În condițiile existenței unei diferențe finite de temperatură între sistem și sursa de căldură, apare în mod spontan un flux care tinde să anuleze acest dezechilibru, procesul decurgînd cu viteză finită. Pentru aducerea sistemului la starea inițială este necesară punerea în contact cu o altă sursă de căldură, cu temperatura diferită de prima și egală cu temperatura inițială. Gradientul de temperatură își schimbă însă semnul și, ca urmare, deși sistemul revine la starea inițială, calea inversă nu se suprapune niciodată peste cea directă, fiind imposibilă reproducerea distribuțiilor microstărilor intermediare. Avînd în vedere modul în care se realizează schimbul spontan de căldură (v. Principiul al doilea al termodinamicii), sistemul nu poate primi căldură decît de la sursa cu temperatura mai ridicată și nu poate ceda căldură decît sursei de temperatură mai coborîtă. Ca urmare a acestei variații a transferului de căldură, realizarea ansamblului celor două procese, direct — invers, echivalează cu trecerea unei cantități de căldură, prin intermediul sistemului, de la sursa cu temperatura ridicată către cea cu temperatura coborîtă. În condițiile existenței frecărilor (indiferent de natura lor: mecanice, vîscoase sau turbulente), împotriva forțelor generate de acestea, care apar la forțe exterioare opunîndu-se mișcării, sistemul efectuează lucru mecanic atît într-un sens de evoluție, cît și în celălalt ($L_{fr,\,dir} > 0$); ($L_{fr,\,inv} > 0$). Presupunînd că nu există alte cauze care determină ireversibilitatea, în cazul destinderii, o parte din lucrul mecanic efectuat de sistem este destinată învingerii frecărilor și, ca urmare, mediul exterior va primi lucru mecanic $\delta L_d = pdv - \delta L_{fr} < pdv$. În aceleași condiții, pentru comprimare, o parte din lucrul mecanic primit din exterior este folosită pentru învingerea frecărilor și, ca urmare, mediul exterior trebuie să efectueze împotriva sistemului lucrul mecanic: $|\delta L_c| = |pdv| + \delta L_{fr} > |pdv|$. În consecință, în condițiile unei aceleiași variații de volum, pentru comprimare este necesar un lucru mecanic mai mare decît cel produs la destindere și pe ansamblul celor două procese apare un consum de lucru mecanic din exterior ($L_{dir} + L_{inv} < 0$). În conformitate cu primul principiu al termodinamicii, dacă sistemul este adus înapoi la starea inițială, variația energiei interne este nulă ($\Delta U = 0$) și, ca urmare, către mediul exterior trebuie cedată o cantitate de căldură echivalentă cu lucrul mecanic consumat ($Q_{dir} + Q_{inv} = L_{dir} + L_{inv} < 0$). În cazul difuziei, procesul direct evoluează spontan, în timp ce, pentru inversarea sa este necesară separarea componenților, lucru care nu poate fi făcut fără un consum de energie sub formă de lucru mecanic din exterior ($L_{dir} = 0$, $L_{inv} < 0$). Dacă se urmărește restabilirea stării inițiale, în baza primului principiu al termodinamicii, variația energiei interne trebuie să fie nulă ($\Delta U = 0$) și, întrucît pe calea directă nu se schimbă căldură cu exteriorul ($Q_{dir} = 0$), rezultă imediat necesitatea cedării către mediul exterior a unei cantități de căldură echivalentă cu lucrul mecanic consumat ($Q_{inv} = L_{inv} < 0$). În toa-

Scanned with OKEN Scanner

te cazurile menţionate desfăşurarea proceselor are loc în condiţii de dezechilibru extern. Existenţa acestui dezechilibru determină, de fapt, imposibilitatea inversării proceselor şi toate cazurile care provoacă acest dezechilibru sînt, ca urmare, cauze ale ireversibilităţii. **P.i.** sînt, prin urmare, toate procesele care se desfăşoară nestatic, cu viteză finită şi în condiţii de dezechilibru termodinamic. Dacă dezechilibrele, caracteristic proceselor nestatice reale, se micşorează, calea inversă se apropie din ce în ce mai mult de cea directă şi, ca urmare, se apropie de transformarea reversibilă. La limită, cînd se desfiinţează frecările, iar cauzele care provoacă dezechilibrul se reduc la nişte infiniţi mici, sistemul poate fi considerat ca fiind în echilibru extern, în orice moment al evoluţiei sale. Numai în această situaţie, calea inversă se suprapune peste cea directă, şi procesul a devenit reversibil. Viteza sa de desfăşurare micşorîndu-se pînă la o valoare infinit mică, la limită fiind zero, timpul de evoluţie tinde către infinit, procesul devenind cvasistatic. Procesul reversibil se găseşte, deci, în afara elementului timp, constînd dintr-o succesiune infinită de stări de echilibru. Procesele reversibile sînt procese ideale, obţinute prin trecerea lor la limită a proceselor reale ireversibile. Avantajul proceselor reversibile constă în faptul, că ele pot fi studiate cu ajutorul metodelor termodinamicii clasice, de echilibru. Dar procesele reale sînt **p.i.** şi se pune, atunci, problema influenţei pe care o are ireversibilitatea asupra modului de desfăşurare a unui proces şi asupra lucrului mecanic produs/consumat de o maşină termică. Adoptînd ca metodă de studiu termodinamica clasică, de echilibru, problema pusă nu poate fi privită decît comparativ, avînd drept criteriu de referinţă procesul ideal, reversibil. Aşa cum s-a arătat, un proces este reversibil numai dacă sistemul se găseşte în orice moment în stare de echilibru termodinamic cu mediul exterior şi dacă nu există frecări. Acest lucru impune ca temperatura şi presiunea sistemului să fie egale cu temperatura şi respectiv presiunea mediului exterior ($T=T_e$, $p=p_e$), iar viteza de desfăşurare să fie nulă (proces cvasistatic). În aceste condiţii, lucrul mecanic elementar schimbat cu mediul exterior (efectuat sau primit), ca urmare a deplasării graniţei mobile a sistemului, se exprimă

$$\delta L_{rev}=p_e dv=pdv,$$

iar variaţia entropiei:

$$dS_{rev}=\frac{\delta Q}{T}=\frac{\delta Q}{T}.$$

Dacă ireversibilitatea este provocată de frecările mecanice, o parte din lucrul mecanic produs de sistem în destindere şi respectiv o parte din lucrul mecanic consumat din exterior pentru comprimare se cheltuie pentru învingerea forţelor de frecare. Lucrul mecanic de frecare este întotdeauna pozitiv, fiind executat împotriva unor forţe exterioare ($\delta L_{fr}>0$) şi, avînd în vedere echilibrul forţelor la graniţa sistemului care suferă deplasarea elementară într-un sens sau altul, rezultă:

$$pdv=p_e dv+\delta L_{fr}$$

Se poate observa, că existenţa frecărilor determină o diferenţă de presiune între sistem şi mediul exterior ($p\neq p_e$), care face ca lucrul mecanic schimbat cu mediul exterior să fie întotdeauna mai mic decît lucrul mecanic pe care l-ar schimba sistemul cu exteriorul în absenţa forţelor de frecare:

$$p_e dv=\delta L_{irev}<pdv=\delta L_{rev}.$$

Frecarea introduce o pierdere de lucru mecanic în cazul proceselor de destindere sau un consum suplimentar în cazul proceselor de comprimare, lucrul mecanic de frecare transformîndu-se în căldura $\delta Q_{fr}=\delta L_{fr}$, care se transmite sistemului. Această cantitate de căldură se va adăuga la cea schimbată cu mediul exterior şi va provoca o variaţie a entropiei sistemului mai mare decît în cazul în care procesul s-ar desfăşura în absenţa frecărilor, deci reversibil:

$$(dS)_{i\,rev}=\frac{\delta Q+\delta Q_{fr}}{T}>\frac{\delta Q}{T}=(dS)_{rev}.$$

În cazul transformărilor în curgere, frecările vîscoase şi turbulente, care apar în această mişcare, determină apariţia unor forţe de frecare, pentru învingerea cărora se consumă, de asemenea, energie. Această energie mecanică este disipată tot în căldura $\delta Q_{fr}=\delta L_{fr}$ care se transmite sistemului.

Dacă ireversibilitatea se datorează schimbului de căldură la diferenţă finită de temperatură, între temperatura sistemului T şi temperatura exterioară T_e trebuie să existe o diferenţă: $T<T_e$, dacă sistemul primeşte căldură şi $T>T_e$, dacă sistemul cedează căldură. Ţinînd cont de semnul cantităţii de căldură schimbată într-un sens sau altul, rezultă, în compo-

Scanned with OKEN Scanner

nența cu procesul reversibil o mărire a variației de entropie:

$$(dS)_{irev} = \frac{\delta Q}{T} > \frac{\delta Q}{T_e} = (dS)_{rev}.$$

În concluzie, se poate considera că ireversibilitatea determină apariția unei cantități de căldură δQ_{irev}, numită căldură necompensată, care determină o variație a entropiei mai mare decît în cazul desfășurării reversibile a procesului:

$$(dS)_{irev} = \frac{\delta Q + \delta Q_{irev}}{T} > \frac{\delta Q}{T} = (dS)_{rev}.$$

Ca urmare, variația entropiei poate fi considerată ca avînd două componente: $\delta S_Q = \frac{\delta Q}{T}$, determinată de schimbul de căldură efectuat cu mediul exterior și $\delta S_{irev} = \frac{\delta Q_{irev}}{T} > 0$, determinată de apariția căldurii necompensate și care întotdeauna este pozitivă:

$$(dS)_{irev} = \delta S_Q + \delta S_{irev}$$

Rezultă, că într-un proces ireversibil finit 1—2, variația entropiei $S_2 - S_1$ este mai mare decît mărimea $\int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$ (care poartă numele de integrala lui Clausius):

$$S_2 - S_1 > \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}.$$

Variația entropiei poate constitui, deci, un criteriu general de apreciere a ireversibilității unui proces. Cu cît diferența dintre variația entropiei și valoarea integralei lui Clausius este mai mare, cu atît procesul real se depărtează mai mult de cel ideal, ireversibil, deci gradul lui de interschimbabilitate este mai ridicat.

Prezintă *importanță practică* următoarele cazuri particulare:

a) Sistemul suferă o evoluție adiabatică ireversibilă. În acest caz, schimbul de căldură reversibil efectuat cu exteriorul este nul ($\delta Q = 0$) și deoarece $\delta Q_{fr} > 0$ se obține:

$$S_2 - S_1 > 0;\ S_2 > S_1,$$

ceea ce pune în evidență faptul, că în procesele adiabatice, reale, ireversibile, entropia crește întotdeauna. Cu cît această creștere este mai mare, cu atît caracterul ireversibil al procesului este mai pronunțat. În diagramele din figura I.103 s-au prezentat procesele adiabatice ireversibile 1—2, de destindere, respectiv comprimare a unui gaz, comparativ cu desfășurarea reversibilă a acestora, 1—2′.

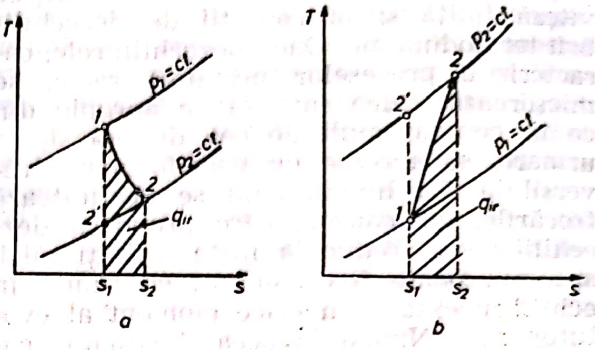


Fig. I.103. Proces adiabatic ireversibil: *a* — destindere; *b* — comprimare.

b) Procesul ireversibil se desfășoară într-un sistem izolat. În acest caz, entropia sistemului nu poate să scadă. În cazul în care starea inițială a sistemului nu este o stare de echilibru termodinamic, în sistem se desfășoară procese spontane, ireversibile, care tind către stabilirea echilibrului. Ca urmare, entropia sistemului va crește, astfel încît la realizarea stării finale de echilibru termodinamic entropia va avea valoarea maximă:

$$dS = 0;\ d^2S < 0.$$

c) Sistemul nu schimbă căldură decît cu un singur termostat, de temperatură constantă T. În acest caz, relația de mai sus se reduce la:

$$S_2 - S_1 > \frac{1}{T}\int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_{12}}{T}.$$

În particular, dacă sistemul în contact cu termostatul de temperatură T nu schimbă lucrul mecanic cu mediul exterior, procesul se desfășoară izocor. Conform principiului întîi al termodinamicii, schimbul de căldură este egal cu variația energiei interne:

$$Q_{12} = U_2 - U_1$$

rezultă:

$$U_2 - U_1 < T(S_2 - S_1)$$

sau

$$U_2 - TS_2 < U_1 - TS_1.$$

Introducînd potențialul lui Helmholtz (energia liberă a sistemului), definit prin relația $F=U-TS$, expresia devine:

$$F_2 < F_1,$$

adică în cazul unui sistem al cărui volum rămîne constant și schimbă căldură în condiții ireversibile cu un termostat, ireversibilitatea determină micșorarea energiei libere a sistemului ($dF < 0$).

Dacă sistemul în contact cu termostatul de temperatură T schimbă cu mediul exterior lucru mecanic în condițiile în care presiunea rămîne constantă, conform principiului întîi al termodinamicii, schimbul de căldură este egal cu variația entalpiei:

$$Q_{12}=H_2-H_1$$

rezultă:

$$H_2-H_1 < T(S_2-S_1).$$

Sau:

$$H_2-TS_2 < H_1-TS_1.$$

Introducînd potențialul lui Gibbs (entalpia liberă a sistemului), definit prin relația $G=H-TS$, inegalitatea devine:

$$G_2 < G_1.$$

adică dacă sistemul care evoluează în condiții de presiune constantă schimbă căldură în mod ireversibil cu un termostat, ireversibilitatea determină micșorarea entalpiei libere a sistemului ($dG < 0$).

De aici, se pot stabili condițiile atingerii echilibrului termodinamic în sistemele izocore sau izobare în contact cu un termostat:

— pentru sistemul izocor:

$$dF=0;\quad d^2F > 0;$$

— pentru sistemul izobar:

$$dG=0;\quad d^2G > 0.$$

În cazul sistemelor menționate, atingerea echilibrului termodinamic cu termostatul presupune atingerea unei valori minime pentru energia liberă și, respectiv, pentru entalpia liberă a sistemului.

d) Procesul este un ciclu ireversibil, corespunzător funcționării unei mașini termice.

În orice mașină termică reală, procesele care compun ciclul de funcționare sînt **p.i.** Schema unei astfel de mașini este prezentată în figura I.104 și cuprinde trei elemente esențiale: sursa caldă aflată la temperatura constantă T_1, mașina termică propriu-zisă și sursa rece aflată la temperatura constantă T_2. Se consideră că mașina termică, împreună cu cele două surse de căldură, formează un sistem lărgit, izolat adiabatic față de mediul înconjurător. După o perioadă de funcționare a mașinii, în acest sistem s-a desfășurat un **p.i.**, constînd din transferul unei cantități de căldură de la sursa caldă către sursa rece, prin intermediul mașinii și transformarea unei părți din această cantitate de căldură în lucru mecanic. Variația entropiei sistemului trebuie să fie pozitivă:

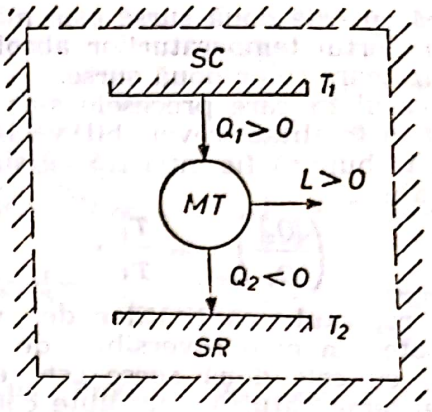


Fig. I.104. Sistem format dintr-o mașină termică și sursele de căldură.

$$\Delta S=\Delta S_{SC}+\Delta S_{MT}+\Delta S_{SR} > 0.$$

Variația entropiei sursei calde (termostatului avînd temperatura T_1) se exprimă,

$$\Delta S_{SC}=-\frac{Q_1}{T_1};$$

Variația entropiei mașinii termice este nulă, întrucît procesul care se desfășoară în interiorul său este ciclic reversibil:

$$\Delta S_{MT}=0.$$

Variația entropiei sursei reci (termostatului avînd temperatura T_2) se exprimă:

$$\Delta S_{SR}=\frac{|Q_2|}{T_2};$$

Ca urmare, rezultă:

$$-\frac{Q_1}{T_1}+\frac{|Q_2|}{T_2} > 0$$

sau

$$\left(\frac{|Q_2|}{Q_1}\right)_{irev} > \frac{T_2}{T_1},$$

adică raportul cantităților de căldură schimbate în mod ireversibil de mașina

termică cu cele două surse este mai mare decît raportul temperaturilor absolute corespunzătoare celor două surse.

În cazul în care procesele s-ar fi desfășurat în totalitate reversibil, variația entropiei trebuie să fie nulă $\Delta S=0$ și, ca urmare, din

$$\left(\frac{|Q_2|}{Q_1}\right)_{rev}=\frac{T_2}{T_1},$$

adică raportul cantităților de căldură schimbate în mod reversibil de mașina termică cu cele două surse este egal cu raportul temperaturilor absolute corespunzătoare celor două surse.

Randamentul termic al mașinii reversibile va depinde în consecință numai de temperaturile surselor de căldură:

$$\eta_{rev}=1-\left(\frac{|Q_2|}{Q_1}\right)_{rev}=1-\frac{T_2}{T_1}.$$

Randamentul termic al mașinii ireversibile se exprimă:

$$\eta_{irev}=1-\left(\frac{|Q_2|}{Q_1}\right)_{irev}<1-\frac{T_2}{T_1}=\eta_{rev},$$

ceea ce pune în evidență faptul, că ireversibilitatea reduce capacitatea de transformare în lucru mecanic a căldurii preluate de la sursa caldă. Din acest motiv, nici o mașină termică reală nu poate atinge randamentul ciclului Carnot.

Aprecierea influenței pe care ireversibilitatea o are asupra desfășurării proceselor termodinamice poate fi făcută și cu ajutorul conceptului de *exergie*. Acest concept a fost introdus pentru a caracteriza capacitatea maximă de transformare a unei forme oarecare de energie în energie mecanică. Această capacitate maximă se manifestă, evident, în condițiile în care nu există pierderi, deci în condiții de reversibilitate.

Pentru a se pune în evidență capacitatea de transformare în energie mecanică, diferitele forme de energie au fost împărțite în trei categorii:

— forme de energie care prezintă, în condiții ideale de reversibilitate, capacitatea nelimitată de transformare;

— forme de energie care, chiar în condiții ideale, nu se pot transforma în energie mecanică;

— forme de energie care, chiar în condiții ideale, prezintă o capacitate limitată de transformare, deci nu pot fi transformate decît parțial în energie mecanică.

Definind exergia drept cantitatea maximă de energie mecanică care în condiții de reversibilitate poate fi obținută prin transformarea unei forme oarecare de exergie și anergie, drept energia care nu poate fi transformată în energie mecanică, rezultă că orice formă de energie poate fi concepută ca fiind suma dintre exergie și anergie corespunzătoare:

$$\text{Energie}=\text{Exergie}+\text{Anergie}.$$

În procesele termice, singurele forme de energie care se acceptă că se modifică, se transformă din una în alta sau se schimbă cu mediul exterior sînt lucrul mecanic și căldura.

Lucrul mecanic este format numai din exergie. Căldura, însă, fiind disponibilă numai pînă la nivelul termometric (energetic), al mediului ambiant, este o energie cu capacitate limitată de transformare, deci cuprinde și anergie. Prin urmare, starea mediului ambiant determină capacitatea maximă de transformare a acestei forme de energie.

În funcție de natura sistemului termodinamic și tipul procesului termodinamic prin care se poate pune în evidență capacitatea maximă de transformare, se pot deosebi trei situații:

a) *Termostat avînd temperatura diferită de cea a mediului ambiant*

În această situație, exergia căldurii schimbată cu un astfel de sistem are semnificația lucrului mecanic pe care îl schimbă cu exteriorul o mașină termică reversibilă care are una din sursele de căldură termostatul cu temperatura T, iar cealaltă sursă de căldură mediul ambiant.

Dacă temperatura sursei calde este mai mare decît a mediului ambiant ($T>T_a$), ciclul Carnot, desfășurat între termostat ca sursă caldă și mediul ambiant ca sursă rece, este un ciclu direct și din căldura preluată de la termostat se obține lucru mecanic maxim. Aceasta este chiar exergia căldurii respective (Fig. I.105):

$$E_Q=\left(1-\frac{T_a}{T}\right)Q=\eta_0\cdot Q=Q-T_a\cdot\Delta S_Q.$$

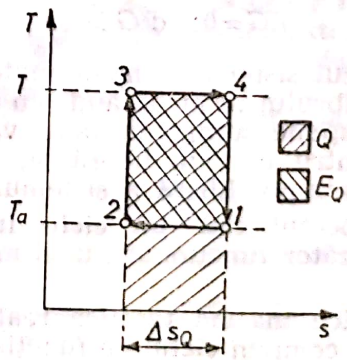


Fig. I.105. Exergia căldurii pentru sursa caldă într-un termostat cu temperatura mai mare decît a mediului ambiant.

Dacă temperatura sursei calde este mai mică decît a mediului ambiant ($T < T_a$), ciclul Carnot, desfășurat între mediul ambiant ca sursă rece și termostat ca sursă caldă este un ciclu inversat și exergia căldurii schimbată cu termostatul are semnificația lucrului mecanic minim necesar pentru a transfera această căldură la nivelul mediului ambiant (Fig. I.106):

$$|E_Q| = \left(\frac{T_a}{T} - 1\right) \cdot Q = \varepsilon_c \cdot Q = |T_a \cdot \Delta S_Q| - Q.$$

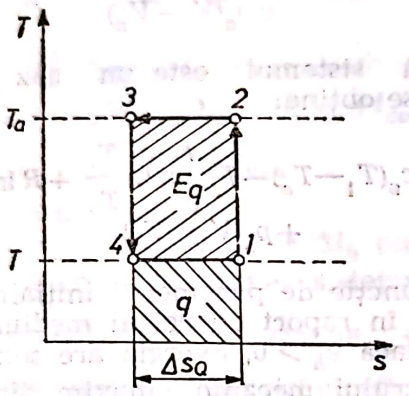


Fig. I.106. Exergia căldurii pentru sursa caldă într-un termostat cu temperatura mai mică decît a mediului ambiant.

b) *Agent termic aflat în curgere staționară*

În majoritatea cazurilor, procesele termice de lucru ale mașinilor și instalațiilor se desfășoară în condițiile curgerii continue a agentului. Ca urmare, prezintă interes lucrul mecanic maxim care s-ar putea obține la trecerea reversibilă a agentului aflat în curgere continuă, din starea dată pînă la starea de echilibru cu mediul ambiant.

Admițînd că evoluția sistemului este lipsită de frecare, condiția de reversibilitate este îndeplinită. Acest lucru se poate face numai dacă trecerea din starea inițială 1 în starea finală a se face prin două transformări reversibile, astfel încît transformarea în care are loc variația temperaturii agentului termic să nu aibă loc schimb de căldură, iar în aceea în care are loc schimbul de căldură, temperatura agentului termic să fie constantă. Aceasta conduce în mod forțat la utilizarea unei transformări adiabatice, prin care temperatura inițială a agentului T_1 să fie adusă la temperatura finală a mediului ambiant, T_a, și apoi a unei transformări izotermice, prin care presiunea este adusă în final la nivelul presiunii p_a a mediului ambiant. (Fig. I.107).

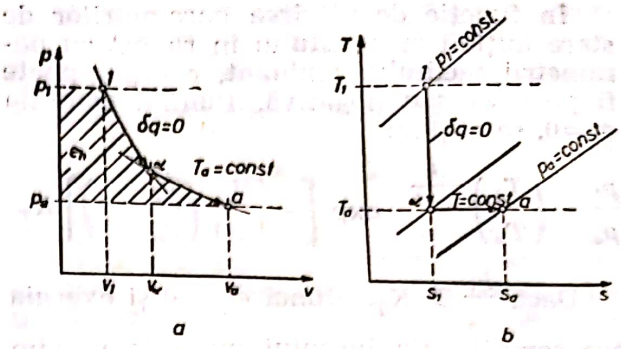


Fig. I.107. Procesul reversibil prin care se poate obține lucrul mecanic maxim: *a* — în diagrama *p—v*; *b* — în diagrama *T—s*.

Lucrul mecanic maxim cedat de 1 kg/s de agent la trecerea din starea 1 în *a* este, în conformitate cu primul principiu al termodinamicii:

$$l_{max} = -\int_1^a v\,dp = -\int_1^a (\delta q - dh) = -$$

$$= -\int_1^a [(T\,ds)_{rev} - dh].$$

Întrucît acest lucru mecanic maxim este chiar exergia agentului, efectuînd integrala în condițiile succesiunii celor două procese 1—α pentru care $\delta q = 0$ și α—*a* pentru care $T = T_a = \text{const}$, se obține:

$$e_h = (h_1 - h_a) - T_a(s_1 - s_a).$$

Dacă agentul de lucru este un gaz perfect, expresia exergiei devine:

$$e_h = c_p(T_1 - T_a) - T_a\left(c_p \ln \frac{T_1}{T_a} - R \ln \frac{}{p_a}\right).$$

Se poate observa, că exergia cuprinde două componente: o componentă în care intervine numai temperatura agentului, numită componenta termică a exergiei e_{Th} și o componentă funcție numai de presiunea agentului, numită prin analogie componenta mecanică a exergiei e_{ph}.

În consecință:

$$\left.\begin{aligned} e_{Th} &= c_p T_a\left(\frac{T_1}{T_a} - 1 - \ln \frac{T_1}{T_a}\right) \\ e_{ph} &= RT_a \ln \frac{p_1}{p_a} \end{aligned}\right\},$$

astfel încît:

$$e_h = e_{Th} + e_{ph}.$$

În funcție de mărirea parametrilor de stare inițiali ai agentului în raport cu parametrii mediului ambiant, exergia poate fi pozitivă sau negativă. Punînd condiția $e_h=0$, se obține:

$$\frac{p_1}{p_a}=\left(\frac{T_1}{T_a}\right)^{\frac{k}{k-1}} \exp\left[-\frac{1}{k-1}\left(\frac{T_1}{T_a}-1\right)\right] K_T.$$

Dacă $\frac{p_1}{p_a} > K_T$, atunci $e_h > 0$ și exergia are semnificația lucrului mecanic maxim și se obține prin evoluția reversibilă a agentului pînă la echilibru cu mediul ambiant (Fig. I.107).

Dacă $\frac{p_1}{p_a} < K_T$, atunci $e_h < 0$ și exergia are semnificația lucrului mecanic minim consumat pentru aducerea agentului din starea inițială 1 în stare de echilibru cu mediul ambiant.

c) *Sistem termodinamic închis (proces fără curgere)*

Și în acest caz, exergia are semnificația lucrului mecanic schimbat cu exteriorul pe cale reversibilă, prin aducerea sistemului în stare de echilibru cu mediul ambiant. Calea reversibilă trebuie și aici să cuprindă o fază adiabatică, prin care temperatura sistemului să fie adusă la nivelul temperaturii mediului ambiant și o fază izotermică, prin care presiunea sistemului să fie adusă la nivelul presiunii mediului ambiant (Fig. I.108).

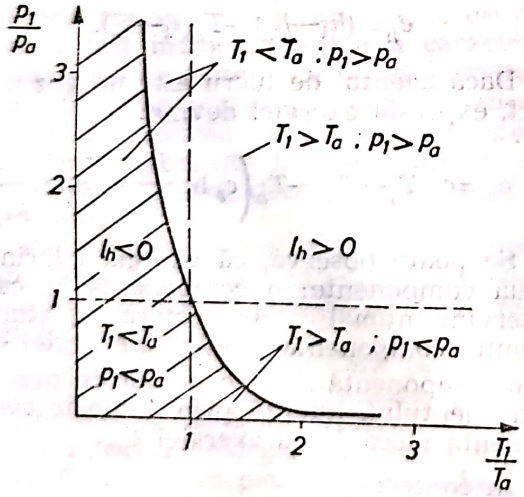


Fig. I.108. Domeniile valorilor parametrilor inițiali ai sistemului, în raport cu parametrii mediului ambiant, pentru care $l_h>0$ și respectiv $l_h<0$.

Pentru 1 kg, lucrul mecanic reversibil are expresia

$$l_{max}=\int_1^a p\,dv=\int_1^a (\delta q-du)=\int_1^a [(Tds)_{rev}-du]$$

sau

$$l_{max}=(u_1-u_a)-T_a(s_1-s_a).$$

Deoarece evoluția sistemului este însoțită de modificarea volumului acestuia cu $\Delta V=V_a-V_1$, cu mediul ambiant se schimbă un lucru mecanic, la presiunea constantă a acestuia:

$$l_a=p_a(V_a-V_1),$$

astfel încît exergia sistemului va fi dată de expresia:

$$e_h=l_{max}+l_a=(u_1-u_a)-T_a(s_1-s_a)+$$
$$+p_a(V_1-V_a)$$

Dacă sistemul este un gaz perfect, atunci se obține:

$$e_h=c_v(T_1-T_a)-T_a\left(c_v\ln\frac{T_1}{T_a}+R\ln\frac{V_1}{V_a}\right)+$$
$$+p_a(V_1-V_a).$$

În funcție de parametrii inițiali ai sistemului în raport cu cei ai mediului ambiant, dacă $e_h>0$, exergia are semnificația lucrului mecanic maxim disponibil prin aducerea sistemului la echilibru cu mediul ambiant, iar dacă $e_h<0$, exergia are semnificația lucrului mecanic minim necesar pentru a aduce sistemul la echilibru cu mediul ambiant.

Așa după cum s-a arătat, ireversibilitatea provoacă reducerea lucrului mecanic schimbat cu exteriorul, în raport cu procesul reversibil, ceea ce echivalează cu o pierdere de exergie. Mărimea acestei pierderi poate constitui o măsură a gradului de ireversibilitate. Cu cît pierderea de exergie este mai mare, cu atît procesul are un caracter ireversibil mai pronunțat. La limită, cînd pierderea de exergie este nulă, procesul devine reversibil.

Considerînd, în cazul cel mai general, un sistem deschis care schimbă în cursul evoluției sale cu exteriorul căldură și lucru mecanic, procesele fiind reale, ireversibile, în conformitate cu primul principiu al termodinamicii, bilanțul energetic al procesului se exprimă:

$$\Delta h+\Delta\frac{w^2}{2}+\Delta gz=\Sigma q_{prim}+\Sigma q_{ced}-$$
$$-(l_{prim}+l_{ced})$$

în care: Δh este variația entalpiei sistemului; $\Delta\frac{w^2}{2}$ — variația energiei cinetice; Δgz — variația energiei potențiale de poziție; q_{prim} — căldura primită de la o sur-

să cu temperatura T_p; q_{ced} — căldura cedată către o sursă cu temperatură T_c.

Variația de entropie a sistemului este compusă din variația de entropie datorată schimburilor de căldură cu sursele la temperatura acestora (reversibil) și din creșterea de entropie determinată de ireversibilitate:

$$\Delta S=(\Sigma\Delta S_{q\,prim}+\Sigma\Delta S_{q\,ced})_{rev}+\Sigma\Delta S_{irev}$$

Amplificînd această relație cu T_a temperatura mediului ambiant și scăzînd-o din ecuația de bilanț energetic, se obține:

$$(\Delta h-T_a\Delta S)+\Delta\frac{w^2}{2}+\Delta gz=$$
$$=\Sigma(q_{prim}-T_a\Delta S_{q\,prim})_{rev}+$$
$$+\Sigma(q_{ced}-T_a\Delta S_{q\,ced})_{rev}-(l_{prim}+l_{ced})-$$
$$-\Sigma T_a\Delta S_{irev}$$

În această ecuație:

— termenul $\Delta h-T_a\Delta S=\Delta l_h$ reprezintă variația exergiei entalpiei sistemului;

— termenii $\Delta\frac{w^2}{2}+\Delta gz=\Delta e_{cin}+\Delta e_{pot}$ reprezintă variația energiei cinetice și, respectiv, potențiale, care au semnificații de exergie;

— termenii de forma $q_{prim}-T_a\Delta S_{q\,prim}=\left(1-\frac{T_a}{T_p}\right)|q_{ced}|=-|eq_{ced}|$ au semnificația exergiei corespunzătoare căldurii primite în sistem;

— termenii de forma $q_{ced}-T_a\Delta S_{qced}=-\left(1-\frac{T_a}{T_c}\right)q_{prim}=e_{q\,prim}$ au semnificația exergiei corespunzătoare căldurii cedate de sistem;

— termenii l_{prim} și l_{ced} reprezintă lucrul mecanic primit, respectiv cedat către exterior;

Notînd cu:

$$T_2=T_a\Delta S_{irev}$$

și observînd că suma:

$$\Delta e_h+\Delta e_{cin}+\Delta e_{pot}=\Delta e$$

reprezintă variația exergiei sistemului între starea inițială și cea finală, ecuația obținută se poate scrie:

$$\Delta e=\Sigma e_{q\,prim}-\Sigma|q_{ced}|-(-|l_{prim}|+l_{ced})-$$
$$-\Sigma\pi$$

sau

$$e_1+\Sigma e_{q\,prim}+|l_{prim}|=e_2+\Sigma|e_{q\,ced}|+$$
$$+l_{ced}+\Sigma\pi$$

ecuație care reprezintă ecuația de bilanț exergetic a procesului. Notînd cu e_{in} exergia introdusă în sistem pentru 1 kg și cu e_{ev} exergia evacuată din sistem, ecuația de bilanț exergetic se exprimă:

$$e_{in}=e_{ev}+\Sigma\pi,$$

ceea ce arată că exergia evacuată din sistem este mai mică decît exergia introdusă și, deci, ireversibilitatea introduce într-adevăr o pierdere. Ca urmare, termenii

$$\pi=T_a\Delta s_{irev}$$

au semnificația pierderilor introduse de ireversibilitate.

Definind drept randament exergetic al procesului raportul

$$\eta_{ex}=\frac{e_{ev}}{e_{irev}}=1-\frac{\Sigma\pi}{e_{irev}}=1-\Sigma\pi$$

se poate aprecia cantitativ influența manifestată de ireversibilitate. Dacă procesul se desfășoară reversibil, $\Sigma\pi=0$ și $\eta_{ex}=1$. Dacă procesul este ireversibil și întreaga exergie se transformă în anergie, $\Sigma\pi=e_{in}$ și $\eta_{ex}=0$. În procesele reale $0<\eta_{ex}<1$.

IREVERSIBILITATE. Proprietate a unui fenomen sau a unui proces de a se putea petrece în ambele sensuri, avînd aceleași consecințe, dar cu efecte contrarii.

IZENTALPĂ. Transformare la entalpie constantă. La gazul perfect, **i.** este și izotermă, deci coincide cu această transformare și este reprezentată în diagramele p—v din figura I.109 și T—s din figura I.110.

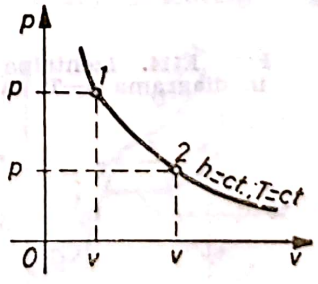


Fig. I.109. Izentalpa gazului perfect în diagrama p—v.

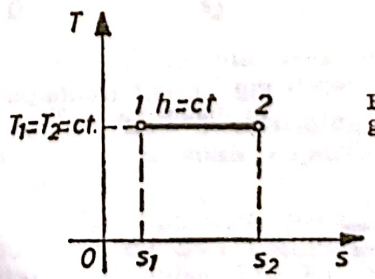


Fig. I.110. Izentalpa gazului perfect în diagrama T—s.

În domeniul bifazic i. poate avea următoarele reprezentări grafice (gaz real):

— în diagrama T—s, are forma unei curbe cu $dp<0$ și $dT \lesseqgtr 0$ (Fig. I.111);

— în diagrama h—s, este o dreaptă paralelă la axa entropiilor (Fig. I.112);

— în diagrama h—p, este o dreaptă paralelă la axa presiunilor (Fig. I.113);

— în diagrama p—T, este o curbă logaritmică cu concavitatea în sus (Fig. I.114);

— în diagrama v—T, este o curbă exponențială (Fig. I.115);

— în diagrama h—v, este o dreaptă paralelă cu axa volumelor (Fig. I.116);

— în diagrama t—h, este o paralelă la axa temperaturilor (Fig. I.117).

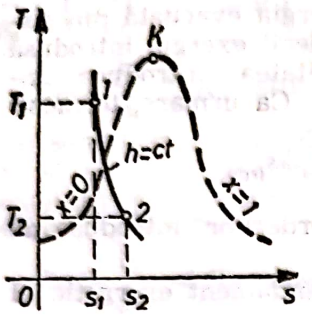


Fig. I.111. Izentalpa în diagrama T—s.

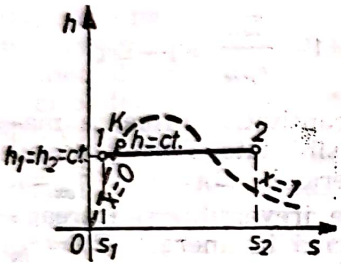


Fig. I.112. Izentalpa în diagrama h—s.

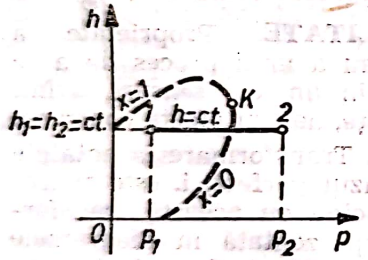


Fig. I.113. Izentalpa în diagrama h—p.

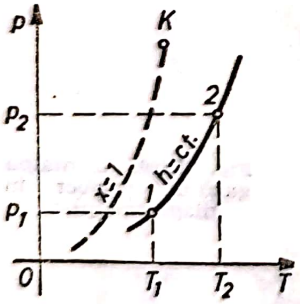


Fig. I.114. Izentalpa în diagrama p—T

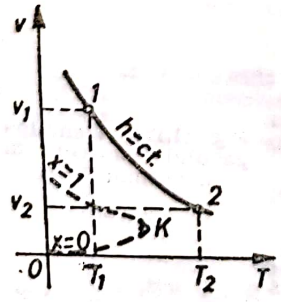


Fig. I.115. Izentalpa în diagrama v—T

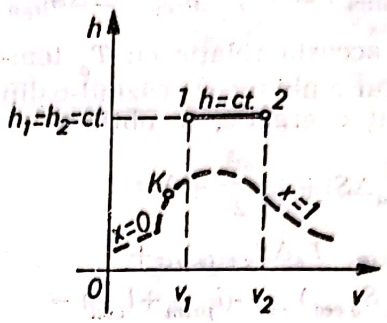


Fig. I.116. Izentalpa în diagrama h—v.

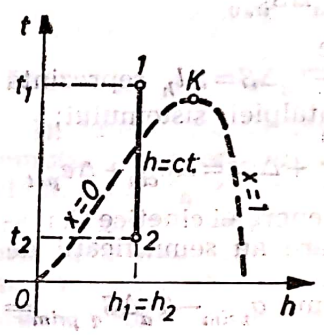


Fig. I.117. Izentalpa în diagrama t—h.

IZOBARĂ. Transformare termodinamică de stare, efectuată la presiune constantă, $p=\text{const}$, sau cazul particular al transformării politropice ($pv^n=\text{const}$), cu exponent politropic $n=0$.

Pentru gazul perfect, căldura specifică la presiune constantă c_p rămîne constantă în decursul acestei transformări, în funcție de presiune și variază numai cu temperatura. Considerînd starea inițială a gazului, 1, caracterizată prin parametrii: presiunea p_1, volumul v_1, temperatura T_1 și starea finală 2, definită de parametrii $p_2=p_1=\text{const}$. v_2 și T_2, căldura schimbată cu exteriorul este:

$$Q_{12}=\int_1^2 \delta Q=\int_1^2 m\cdot c_p\cdot dt=$$

$$=m\cdot c_{pm}\Big|_{t_1}^{t_2}(t_2-t_1) \quad [\text{J}].$$

Lucrul mecanic al procesului este:

$$L_{12}=\int_1^2 \delta L=\int_1^2 mp\cdot dv=mp(v_2-v_1) \quad [\text{J}].$$

Variația energiei interne:

$$U_2-U_1=\int_1^2 dU=\int_1^2 m\cdot c_v\cdot dt=$$

$$=m\cdot c_{vm}\Big|_{t_1}^{t_2}(t_2-t_1) \quad [J].$$

Variația entalpiei:

$$H_2-H_1=\int_1^2 dH=\int_1^2 m\cdot c_p\cdot dt=$$

$$=m\cdot c_{pm}\Big|_{t_1}^{t_2}(t_2-t_1) \quad [J]$$

și

$$Q_{12}=H_2-H_1.$$

Lucrul mecanic L_t în mașina rotativă

$$L_{t,12}=\int_1^2 \delta L_t=-\int_1^2 \dot{m}\cdot v\cdot dp=0 \ [J]$$

Variația entropiei:

$$S_2-S_1=\int_1^2 dS=\int_1^2 m\cdot c_p\cdot\frac{dT}{T}-$$

$$-\int_1^2 m\cdot R\cdot\frac{dp}{p}=m\cdot c_{pm}\Big|_{t_1}^{t_2}\ln\frac{T_2}{T_1} \quad [J/K]$$

sau:

$$S_2-S_1=\int_1^2 dS=\int_1^2 m\cdot c_v\cdot\frac{dp}{p}+$$

$$+\int_1^2 m\cdot c_p\cdot\frac{dV}{V}=m\cdot c_{pm}\Big|_{t_1}^{t_2}\ln\frac{V_2}{V_1} \quad [J/K]$$

sau:

$$S_2-S_1=\int_1^2 dS=\int_1^2 m\cdot c_v\frac{dT}{T}+$$

$$+\int_1^2 m\cdot R\frac{dv}{v}=m\cdot c_{vm}\Big|_{t_1}^{t_2}\ln\frac{T_2}{T_1}+$$

$$+m\cdot R\ln\frac{v_2}{v} \quad [J/K].$$

La gazul perfect, **i.** se reprezintă printr-o dreaptă paralelă cu axa volumelor în diagrama p—v (Fig. I.118) și printr-o curbă logaritmică în diagrama T—s (Fig. I.119) cu concavitatea în sus. În diagrama T—s subtangenta la **i.** care trece printr-un punct M definește căldura specifică la presiune constantă c_p.

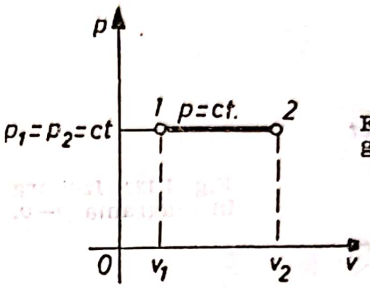


Fig. I.118. Izobara gazului perfect în diagrama p—v.

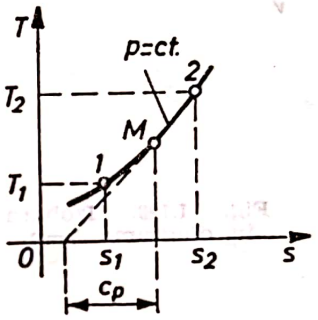


Fig. I.1119 Izobara gazului perfect în diagrama T—s.

În domeniul bifazic (gazele reale), **i.** are următoarele reprezentări grafice:

— în diagrama T—s, este confundată cu curba limită a lichidului la presiuni scăzute, în zona lichidă (exceptînd lichidele puternic compresibile); este paralelă cu axa entropiei, în zona vaporilor umezi și are o alură logaritmică, în zona vaporilor supraîncălziți (Fig. I.120);

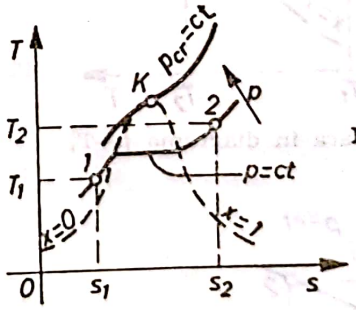


Fig. I.120. Izobara în diagrama T—s.

— în diagrama h—s, este linie dreaptă în zona vaporilor umezi $(\partial h/\partial s)_p=T$ și este o curbă logaritmică cu concavitatea în sus, în zona vaporilor supraîncălziți (Fig. I.121);

— în diagrama p—v, izobara este o paralelă cu axa volumelor, indiferent de starea fluidului (Fig. I.122);

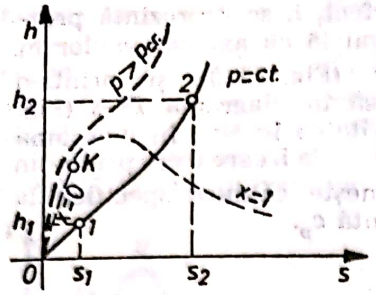


Fig. I.121. Izobara în diagrama h—s.

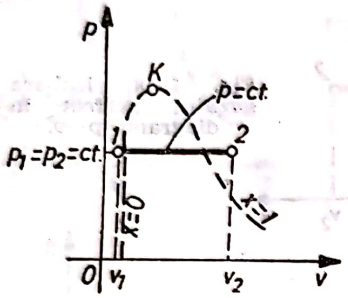


Fig. I.122. Izobara în diagrama p—v.

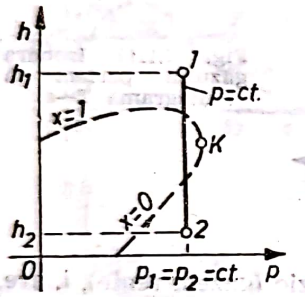


Fig. I.123. Izobara în diagrama h—p.

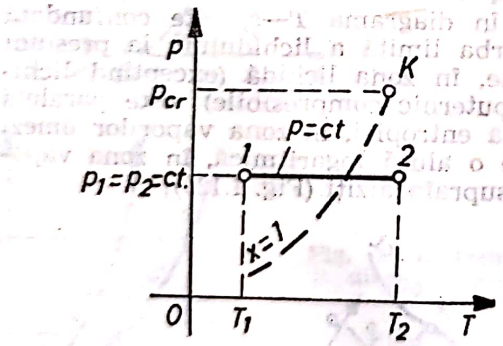


Fig. I.124. Izobara în diagrama p—T.

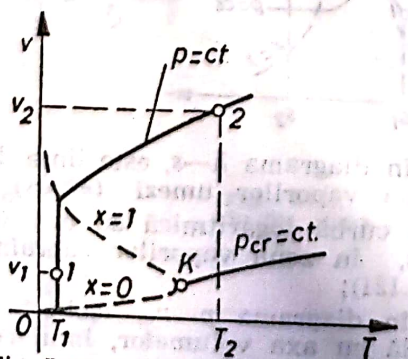


Fig. I.125. Izobara în diagrama v—T.

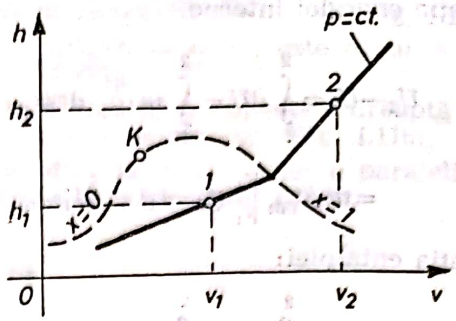


Fig. I.126. Izobara în diagrama h—v.

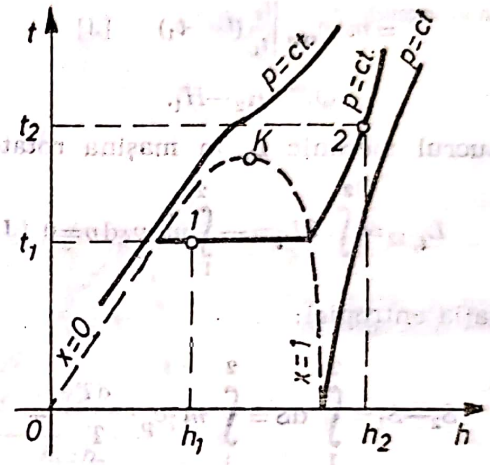


Fig. I.127. Izobara în diagrama t—h.

— în diagrama h—p, este paralelă cu axa entalpiei, indiferent de starea fluidului (Fig. I.123);

— în diagrama p—T, este o linie paralelă cu axa temperaturilor, indiferent de starea fluidului (Fig. I.124);

— în diagrama v—T, este o linie paralelă cu axa volumelor, în zona vaporilor umezi și are alura curbei logaritmice cu concavitatea în jos, în zona vaporilor supraîncălziți (Fig. I.125);

— în diagrama h—v, este o linie dreaptă de coeficient unghiular $(\partial h/\partial v)_p = T \cdot \frac{s''-s'}{v''-v'}$, în domeniul vaporilor umezi și o dreaptă cu înclinarea din ce în ce mai mare, odată cu creșterea presiunii, izobarele formînd un fascicul de drepte divergente în zona vaporilor supraîncălziți (Fig. I.126);

— în diagrama t—h, are alură logaritmică, în afara curbei limită și se suprapune, în zona vaporilor umezi (Fig. I.127).

I. de reacție. Exprimă variația cu temperatura a constantei de echilibru, la reacțiile care se desfășoară la presiune constantă, și anume:

$$\frac{\mathrm{d}(\ln K_p)}{\mathrm{d}T} = \frac{\Delta H^r}{RT^2},$$

în care: K_p este constanta de echilibru la p=const.; dH^r — variația entalpiei de reacție, în condițiile inițiale; R — constanta gazului; T — temperatura procesului.

IZOCORĂ. Transformare termodinamică de stare efectuată la volum constant, v=const., (ρ=const.) sau al transformării politropice (pv^n=const.) cu exponet $n \to \infty$ (la gazul perfect). Procesul este caracterizat prin căldura specifică la volum constant c_v.

Fie două stări de transformare: starea inițială 1, de parametrii presiunea p_1, volumul v_1, temperatura T_1 și starea 2 finală, de parametrii $v_1=v_2=v$=const., p_2 și T_2. Căldura schimbată cu exteriorul este pentru m kg gaz perfect:

$$Q_{12}=\int_1^2 \delta Q=\int_1^2 m\cdot c_v\cdot \mathrm{d}t=$$

$$=m\cdot c_{vm}\Big|_{t_1}^{t_2}(t_2-t_1) \quad [\mathrm{J}]$$

și lucrul mecanic al procesului:

$$L_{12}=\int_1^2 \delta L=\int_1^2 mp\cdot \mathrm{d}v=0.$$

Variația energiei interne este:

$$U_2-U_1=\int_1^2 \mathrm{d}U=\int_1^2 m\cdot c_v\cdot \mathrm{d}t=$$

$$=m\cdot c_{vm}\Big|_{t_1}^{t_2}(t_2-t_1) \quad [\mathrm{J}]$$

și, deci:

$$Q_{12}=U_2-U_1.$$

Variația entalpiei:

$$H_2-H_1=\int_1^2 \mathrm{d}H=\int_1^2 m\cdot c_p\cdot \mathrm{d}t=$$

$$=m\cdot c_{pm}\Big|_{t_1}^{t_2}(t_2-t_1) \quad [\mathrm{J}]$$

Dar $c_p=k\cdot c_v$, unde k este exponentul adiabatic. Rezultă:

$$H_2-H_1=m\cdot k\cdot c_{vm}\Big|_{t_1}^{t_2}(t_2-t_1)=$$

$$=k(U_2-U_1)$$

Lucrul mecanic L_t în mașina rotativă este:

$$L_{t12}=\int_1^2 \delta L_t=-\int_1^2 \dot{m}\cdot v\mathrm{d}p=\dot{m}\cdot v(p_1-p_2) \quad [\mathrm{J}].$$

Variația entropiei gazului perfect în transformarea izocoră:

$$S_2-S_1=\int_1^2 \mathrm{d}S=\int_1^2 \dot{m}\cdot c_v\cdot \frac{\mathrm{d}T}{T}+$$

$$+\int_1^2 m\cdot R\cdot \frac{\mathrm{d}v}{v}=\dot{m}\cdot c_{vm}\Big|_{t_1}^{t_2}\ln\frac{T_2}{T_1} \quad [\mathrm{J/K}],$$

sau:

$$S_2-S_1=\int_1^2 \mathrm{d}S=\int_1^2 \dot{m}\cdot c_p\cdot \frac{\mathrm{d}T}{T}-\int_1^2 \dot{m}\cdot R\cdot \frac{\mathrm{d}p}{p}=$$

$$=\dot{m}\cdot c_{pm}\Big|_{t_1}^{t_2}\ln\frac{T_2}{T_1}-\dot{m}\cdot R\cdot\ln\frac{p_2}{p_1} \quad [\mathrm{J/K}],$$

sau:

$$S_2-S_1=\int_1^2 \mathrm{d}S=\int_1^2 \dot{m}\cdot c_v\cdot\frac{\mathrm{d}p}{p}+\int_1^2 \dot{m}\cdot c_p\frac{\mathrm{d}v}{v}=$$

$$=\dot{m}\cdot c_{vm}\Big|_{t_1}^{t_2}\cdot\ln\frac{p_2}{p_1} \quad [\mathrm{J/K}].$$

Pentru gazul perfect, i. se reprezintă în diagrama p—v (Fig. I.128) printr-o dreaptă paralelă la axa presiunilor. În diagrama

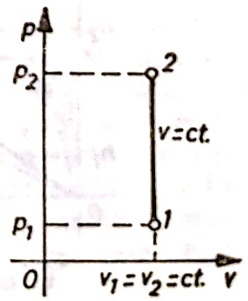


Fig. I.128. Izocora gazului perfect în diagrama p—v.

T—s (Fig. I.129), **i.** are alura unei curbe logaritmice cu concavitatea în sus, fiind mai înclinată decît o izobară care ar trece printr-un punct comun. Subtangenta într-un punct M la **i.** este căldura specifică la volum constant c_v.

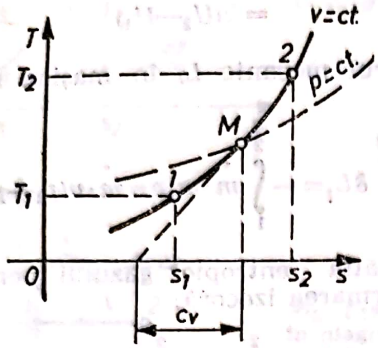


Fig. I.129. Izocora gazului perfect în diagrama T—s.

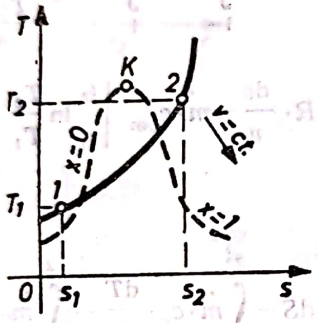


Fig. I.130. Izocora în diagrama T—s.

În domeniul bifazic (gazele reale), **i.** are următoarele reprezentări:

— în diagrama T—s, în zona lichidă, este o dreaptă, conform coeficientului unghiular la temperatura T $(\partial T/\partial s)_v = T/c_v$; în zona vaporilor umezi, este o curbă, iar în domeniul vaporilor supraîncălziți, este o curbă logaritmică, dar mai înclinată decît izobara (Fig. I.130);

— în diagrama h—s, în zona vaporilor umezi, izocorele sînt drepte mai înclinate decît izobarele și în domeniul vaporilor supraîncălziți sînt curbe logaritmice cu coeficient unghiular mai mare decît al izobarelor (Fig. I.131);

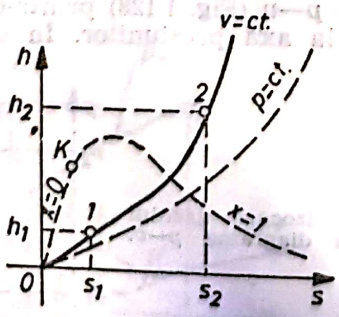


Fig. I.131. Izocora în diagrama h—s.

— în diagrama h—p, **i.** sînt curbe cu concavitatea în jos, indiferent de starea fluidului (Fig. I.132);

— în diagrama p—v, este o dreaptă paralelă cu axa presiunilor indiferent de starea fluidului (Fig. I.133);

— în diagrama p—T, **i.** sînt linii drepte (Fig. I.134);

— în diagrama v—T, **i.** sînt drepte paralele cu axa temperaturilor (Fig. I.135);

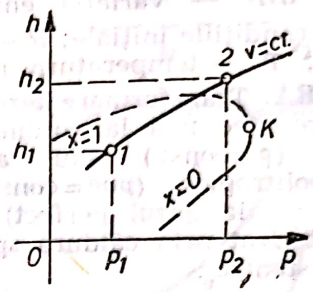


Fig. I.132. Izocora în diagrama h—p.

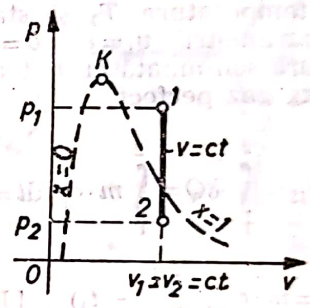


Fig. I.133. Izocora în diagrama p—v.

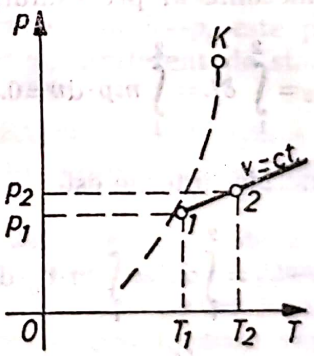


Fig. I.134. Izocora în diagrama p—T.

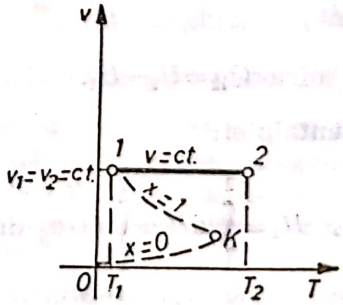


Fig. I.135. Izocora în diagrama v—T.

Scanned with OKEN Scanner

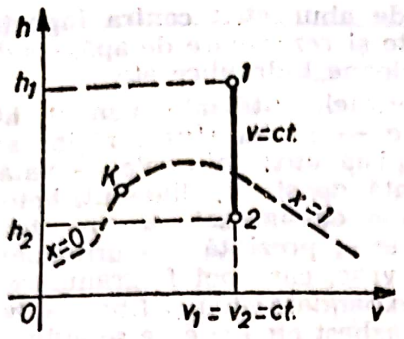


Fig. I.136. Izocora în diagrama h—v.

— în diagrama h—v, **i.** sînt drepte paralele cu axa entalpiilor (Fig. I.136).

I. de reacție. Este o curbă care reprezintă constanta de echilibru K a reacției chimice reversibile desfășurată la v=const pentru o temperatură de proces T și are ecuația diferențială:

$$\frac{d(\ln K)}{dT} = -\frac{\Delta U^r}{RT^2},$$

în care ΔU^r este variația energiei interne în reacția **i.**, iar R — constanta gazului. Considerînd că energia internă rămîne practic constantă cu temperatura, ecuația acestei **i.** devine, prin integrare:

$$\ln K_1 - \ln K_2 = \frac{U}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right).$$

Cunoscînd U și K_2 la temperatura T_2, se pot determina K_1 și T_1. Dacă se măsoară constantele de echilibru la temperaturile T_1 și T_2, se poate determina energia U.

IZOLANT. Material utilizat pentru realizarea unei izolări. Există următoarele tipuri de **i.**:

— **i. fonic (acustic),** care amortizează vibrațiile și împiedică transmiterea sunetului datorat unei surse sonore; are elasticitate mică;

— **i. hidrofug,** care are permeabilitate foarte mică la apă sau nulă;

— **i. termic,** utilizat pentru a împiedica pierderile de căldură dintr-un sistem. Conductivitatea termică a **i.** termici la temperaturi de (50—100)°C este mai mică de 0,29 W/m·K. **I.** termici mai des utilizați sînt: granulele și plăcile de turbă aglomerate, lemnul și fibrolitele lemnoase, materialele păioase, materialele celulozice, rășinile sintetice, pîslele, diatomitul, vata minerală, agregatele ușoare, ca argila expandată și zgura metalurgică expandată, materialele ceramice sau de sticlă, betoanele și mortarele ușoare expandate etc. Calitatea de bun **i.** termic este dată de porozitate și de textură, depinzînd de modul de repartizare al porilor și de dimensiunile lor. Cînd diametrul porilor crește de la 0,5 la 5 mm, conductivitatea termică (λ) crește de la 0,0232 W/m·K la 0,044 W/m·K. Conductivitatea termică scade odată cu micșorarea densității materialului. Calitățile **i.** sînt influențate și de umiditatea materialului, deoarece umiditatea are λ=0,58 W/m·K, comparativ cu aerul înlocuit care are λ=0,0232 W/m·K. În general, conductivitatea termică crește odată cu mărirea temperaturii, exceptînd materialele refractare magnezitice și grafitice unde aceasta scade cu creșterea temperaturii. La un **i.** termic trebuie să se țină, însă, cont că, odată cu mărirea temperaturii, scade stabilitatea termică a lui, deci durabilitatea. De aceea, **i.** termici supuși temperaturilor ridicate e bine să aibă o conductivitate termică nu prea mică.

IZOLARE HIDROFUGĂ. Totalitatea operațiilor care se fac pentru a feri o mașină, o instalație, o clădire etc. de acțiunea umidității.

I.h. împiedică pătrunderea apei prin elementele exterioare ale unei construcții sau diminuează acțiunea apei asupra unor instalații, construcții, clădiri etc. Este de mai multe tipuri. **I.h. exterioară** este aplicată pe exteriorul construcțiilor **I.h. interioară** este aplicată pe suprafețele care limitează interiorul.

Se efectuează prin ungerea unui strat subțire de material (emulsii de bitum etc.) fluid, aplicat la rece sau la cald prin vopsire, stropire, turnare și care, prin uscare, devine impermeabil. Este ieftină, se aplică ușor, dar se deteriorează relativ ușor. Sînt utile cînd se folosesc pe fețele pe care se exercită presiunea hidrostatică a apei și, în general, în locurile unde pot fi revizuite și reparate.

I.h. plastică se aplică în straturile de 5—6 mm, la rece sau la cald prin turnare sau prin montarea unor plăci semifabricate, alăturate și lipite la rosturi (amestecuri bituminoase, kieselgur etc.). Este mai scumpă, dar acționează mai bine și durează mai mult, deci devine mai economică, neavînd nevoie de întreținere deosebite;

— **I.h. elastică** se execută sub formă de straturi alternante din materiale impermeabile plastice și armături elastice, alcătuite din materiale hidroizolante în formă de suluri, aplicate la rece sau la cald. Ca materiale se folosesc: pînza de cînepă, cartonul asfaltat, pînza asfaltată, amestecuri de bitum etc. Rezistă foarte bine la acțiunea apei și, ca atare, suportă o presiune hidrostatică mare, dar este mai

Scanned with OKEN Scanner

scumpă și impune o execuție pretențioasă. Se poate executa prin presare la exteriorul instalațiilor, rezistînd la infiltrarea apei, dar se poate face și în interiorul instalațiilor, rezistînd mai puțin, deși se poate repara ușor;

I.h. cu praf hidrofob este aplicată direct pe suprafețele de izolat orizontale sau cu înclinări mici și acoperită în exterior cu plăci de beton sau mozaic. Execuția este ușoară și cu preț de cost scăzut, avînd o bună rezistență. **I.h. rigidă** se efectuează cu tencuieli impermeabile, de grosime mică, cu adaosuri hidrofobe sau prin torcretare. Prezintă o bună rezistență, dacă elementele izolante nu sînt în pericol de deformare în timpul funcționării. **I.h. metalică** se execută cu foi sau plăci metalice îmbinate prin sudură sau etanșate la rosturi. Este scumpă, are o execuție dificilă și se utilizează în cazuri speciale, cînd celelalte mijloace nu sînt eficace (presiuni și temperaturi ridicate etc.). Materiale folosite sînt: foi de plumb laminate, protejate de straturi de mastic; tole de oțel sudate, folosite la solicitări termice mari; profiluri turnate sau laminate din fontă sau oțel laminat; foi de cupru numai pentru acoperirea rosturilor; foi de zinc cu bună rezistență la acțiunea apei și aerului, dar atacate de acizi; foi de aluminiu cu bună rezistență, dar supuse acțiunii alcaliilor etc. **I.h. mixtă** reprezintă combinații de diferite **i.h.**, folosite în cazuri speciale, în condiții dificile de exploatare. Se utilizează următoarele tipuri: cu inserție de plumb, alcătuite din foi subțiri de plumb lipite între foi de carton; cu foi metalice, alcătuite din foi subțiri de tablă striată, înglobate într-o masă bituminoasă.

IZOLAȚIE TERMICĂ. Strat de material între două medii pentru a micșora sau a împiedica transferul de căldură. Are ca scop obținerea unor regimuri de temperatură la care pot avea loc anumite procese în interiorul încăperilor izolate termic, cum ar fi: asigurarea condițiilor de confort pentru oameni, asigurarea condițiilor de desfășurare a unor procese tehnologice, de creștere a animalelor, de protejare împotriva frigului sau a căldurii a unor materiale. De asemenea, se urmărește protejarea construcțiilor și instalațiilor contra frigului și căldurii, pentru a le asigura durabilitate și economicitate în exploatare.

Ținînd cont de temperaturi, **i.t.** se execută pentru: **temperaturi joase** — la instalații frigorifice, încăperi izoterme, conducte pentru transportul agenților frigorifici etc.; **temperaturi medii** — la clădiri; **temperaturi înalte** — la conducte de apă caldă, de abur etc.; **contra înghețului** — conducte și rezervoare de apă, conducte de ulei, coloane hidraulice etc.

Materialele utilizate pentru **i.t.** sînt: *organice* — plută, stufit, rășini sintetice, turbă, pîslă etc.; *minerale* — vată minerală, vată de sticlă, diatomit, beton celular, beton cu agregate ușoare etc. Aceste materiale se prezintă sub următoarele forme: în vrac, care pot fi granulare (zgură, argilă expandată etc.) și fibroase (vată minerală, azbest etc.) și care se aplică ca umpluturi (rumeguș, talaj, vată minerală, turbă etc.) cu diferite grade de îndesare și paste (materiale pulverulente legate cu lianți); prefabricate, care pot fi: plăci de formă dreptunghiulară (cărămizi și blocuri de dimensiuni mici), segmente (cochilii, covoare de pîslă minerală), piese fasonate pentru izolarea suprafețelor cu forme complicate.

Materialele de execuție au următoarea structură: materialele anorganice coerente cu structură celulară — masă coerentă cu pori, masă de azbest cu pori (cărămizi poroase, betoane celulare etc.); materiale anorganice necoerente cu structură granulară — umplutură de diatomit etc.; materiale ușoare; materiale organice fibroase: necoerente — cu fibre formînd o masă amorfă (vată minerală, vată de sticlă etc.) și coerente — fibre legate cu liant organic sau anorganic (plăci fibrolemnoase etc.); mase plastice poroase sau compacte.

I.t. au forma pereților: plane, cilindrice, sferice.

a) **Pereți plani omogeni** cu un singur strat de material (Fig. I.137). Fluxul de

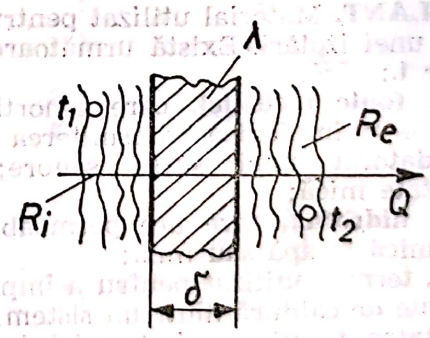


Fig. I.137. Perete plan omogen.

căldură Q care trece în unitatea de timp prin suprafața S este: $Q=S\cdot\Delta t/R_0$ [W], unde: Δt este diferența de temperatură dintre mediul interior și exterior; R_0 — rezistența termică a peretelui [$m^2\cdot K/W$]; $R_0=R_i+R_e+R$, în care R_i este rezistența termică la suprafața interioară; R_e — re-

zistența termică la suprafața exterioară, $R=\delta/\lambda'$ — rezistența termică la permeabilitate, δ — grosimea peretelui ținînd cont de umiditatea naturală [W/m·K].

b) **Pereți plani neomogeni** cu straturi verticale omogene, perpendiculare pe direcția fluxului termic (Fig. I.138). Fluxul

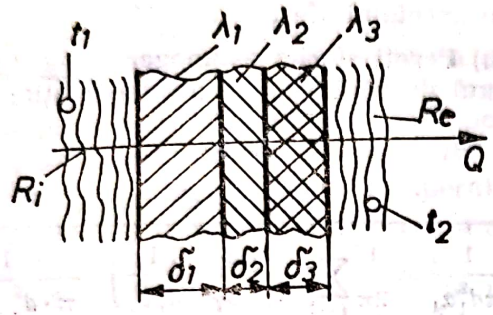


Fig. I.138. Pereți plani neomogeni cu straturi verticale neomogene perpendiculare pe direcția fluxului termic.

de căldură se calculează ca și anterior, cu excepția rezistenței termice care este $R=\sum_{i=1}^{n}\frac{\delta_i}{\lambda_i}$, în care δ_i este grosimea fiecărui strat și λ_i — conductivitățile termice ale straturilor respective [W/m·K].

c) **Pereți plani neomogeni** cu straturi de grosime egală cu grosimea peretelui și paralele cu direcția fluxului termic (Fig. I.139). Se aplică aceeași relație pentru flu-

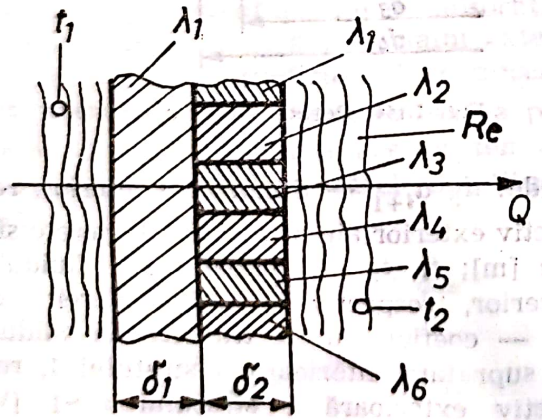


Fig. I.139. Perete plani neomogeni cu straturi orizontale omogene perpendiculare pe direcția fluxului termic.

xul termic ca anterior, dar rezistența termică la conductivitate este dată de relația:

$$R=\frac{\sum_{i=1}^{n}S_i}{\sum_{i=1}^{n}\frac{S_i}{R_i}}\ [\mathrm{m^2\cdot K/W}],$$

unde R_i reprezintă rezistențele termice ale straturilor componente [m²·K/W], iar S_i — suprafețele straturilor componente [m²].

d) **Pereți plani neomogeni** cu straturi verticale neomogene (Fig. I.140). Porțiunile delimitate de straturile neomogene se îm-

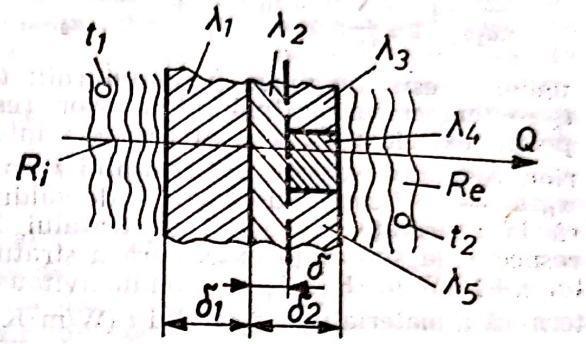


Fig. I.140. Pereți plani neomogeni cu straturi verticale neomogene.

part prin suprafețe perpendiculare și paralele cu direcția fluxului termic și în relația fluxului termic, rezistența termică devine:

$$R=\frac{R_{\parallel}+2R_{\perp}}{3}\ [\mathrm{m^2\cdot K/W}].$$

e) **Pereți cilindrici omogeni.** Fluxul de căldură ce trece prin perete este (Fig. I.141):

$$Q=\frac{L\cdot\Delta t}{\frac{1}{\pi\cdot d_1\cdot\alpha_1}+\frac{1}{2\pi\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1}+\frac{1}{\pi\cdot d_2\cdot\alpha_2}}\ [\mathrm{W}],$$

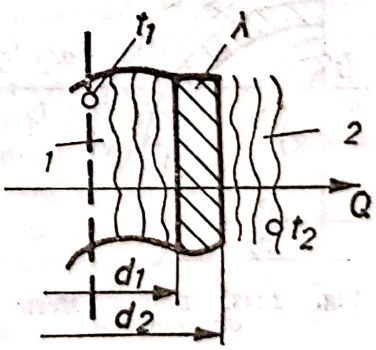


Fig. I.141. Perete cilindric omogen.

în care: L este lungimea peretelui cilindric [m]; Δt — diferența dintre temperatura fluidului interior și cel exterior [K]; d_1, d_2 — diametrele interior, respectiv exterior ale peretelui [m]; α_1, α_2 — coeficienții de transfer de căldură la suprafața interioară, respectiv exterioară [W/m²·K];

Scanned with OKEN Scanner

λ — conductivitatea termică a materialului peretelui [W/m·K].

f) Pereți cilindrici neomogeni (Fig. I.142). Fluxul termic prin perete este:

$$Q=\frac{L(t_1-t_2)}{\frac{1}{\pi d_1\alpha_1}+\frac{1}{2\pi}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{\lambda_i}\ln\frac{d_{i+1}}{d_i}+\frac{1}{\pi d_{n+1}\alpha_2}}\ [\mathrm{W}],$$

unde: L este lungimea peretelui [m]; t_1, t_2 — temperaturile fluidului interior, respectiv exterior; d_i, d_{i+1} diametrele interior, respectiv exterior ale stratului i [m]; α_1, α_2 — coeficienții de transfer de căldură la suprafața interioară a stratului 1, respectiv la suprafața exterioară a stratului $n+1$ [W/m²·K]; λ_i — conductivitatea termică a materialului stratului i [W/m·K].

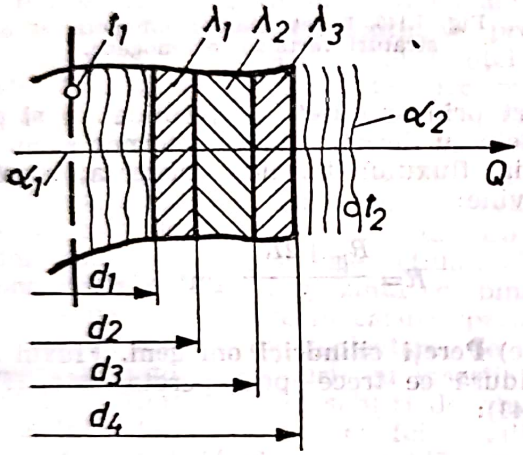


Fig. I.142. Perete cilindric neomogen.

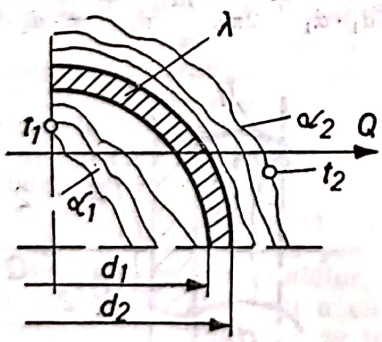


Fig. I.143. Perete sferic omogen.

g) Pereți sferici omogeni (Fig. I.143). Fluxul de căldură prin perete este:

$$Q=\frac{t_1-t_2}{\frac{1}{\pi d_1^2\alpha_1}+\frac{1}{2\pi}\frac{1}{\lambda}\left(\frac{1}{d_1}-\frac{1}{d_2}\right)+\frac{1}{\pi\cdot d_2^2\alpha_2}}\ [\mathrm{W/sferă}],$$

unde: d_1, d_2 sînt diametrele interior, respectiv exterior ale peretelui sferic [m]; t_1, t_2 — temperaturile fluuidului interior, respectiv exterior; α_1, α_2 — coeficienții de transfer de căldură la suprafața interioară, respectiv exterioară a peretelui [W/m²·K]; λ — conductivitatea materialului peretelui sferic [W/m·K].

h) Pereți sferici neomogeni (Fig. I.144). Fluxul de căldură este dat de relația:

$$Q=\frac{t_1-t_2}{\frac{1}{\pi d_1^2\alpha_1}+\frac{1}{2\pi}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{\lambda_i}\left(\frac{1}{d_i}-\frac{1}{d_{i+1}}\right)+\frac{1}{\pi\cdot d_{n+1}^2\alpha_2}}\ [\mathrm{W/sferă}],$$

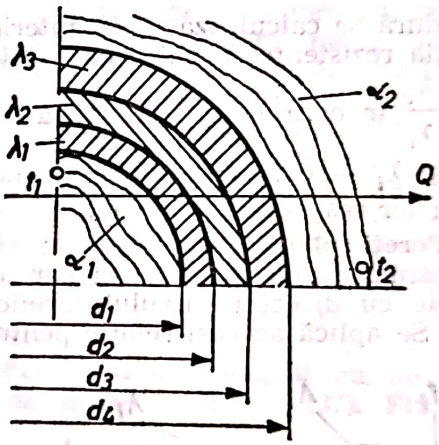


Fig. I.144. Perete sferic neomogen.

unde: d_i, d_{i+1} — diametrele interior, respectiv exterior ale stratului i de perete sferic [m]; t_1, t_2 — temperaturile fluidului interior, respectiv exterior sferei; α_1, α_2 — coeficienții de transfer de căldură la suprafața interioară a stratului 1, respectiv exterioară a stratului $n+1$ [W/m²·K]; λ_i — conductivitatea termică a materialului stratului i [W/m·K].

I.t. a spațiilor unde își desfășoară activitatea oamenii trebuie să aibă în vedere asigurarea confortului termic dat de temperatura aerului interior, de schimbul de căldură dintre corpul omenesc și mediul interior, de umiditatea relativă a aerului interior, de temperatura superficială a elementelor de construcție, de climat — vînt, ploaie, ger, insolație, umiditate relativă

etc. Un om pierde în stare de repaus o cantitate de căldură de 116 J/s, din care circa 50% prin radiație, 20% prin respirație și transpirație și 30% prin convecție și conducție termică, la temperatura de 20°C. Dacă temperatura interioară crește peste limita normală, se mărește pierderea de căldură prin evaporare și, dacă scade sub cea normală, se mărește pierderea de căldură prin radiație intensivă, dînd o senzație acută de frig. Între temperatura aerului din interior și cea a pereților trebuie să se păstreze o anumită diferență pentru asigurarea confortului. La $t_{aer}=18°C$, se indică $t_{perete}=18\pm(4—5)°C$. Temperaturile admisibile ale pereților față de cea a aerului interior se indică a fi $\pm(6—7)°C$ în plus la pereții exteriori, $\pm(4{,}5—5{,}5)°C$ la planșee, $\pm 2{,}5°C$ la pardoseli. Aerul din interior trebuie să aibă umiditatea relativă de circa 70% la $t_{aer}=20°C$, astfel apare senzația de sufocare, dar nu trebuie să scadă în încăperi sub 50%. În halele industriale, la umiditatea aerului trebuie să se țină cont și de parametrii procesului tehnologic. În general, confortul termic este condiționat de clima țării și perioadele de încălzire sînt proprii fiecărei țări. În calcularea izolațiilor termice la construcții, temperatura medie convențională de calcul este $t_{e,\,conv}=t_e\pm p/\alpha_b$, în care t_e — temperatura medie la ora 13 a celei mai calde luni, p— coeficientul de absorbție a radiației solare pentru materialul exterior de finisaj; α_b — coeficientul de trecere a căldurii prin suprafața exterioară a peretelui exterior. Valoarea acestei temperaturi are o oscilație a cărei amplitudine este:

$$A_{e\,conv}=(A_e+A_{ech})\cdot\psi=$$

$$=\left(A_e+p\,\frac{J_{max}-J}{\alpha_b}\right)\cdot\psi,$$

unde: $A_e=2(t_{13}—t_{e,\,med})$ este amplitudinea temperaturii aerului la ora 13 a celei mai călduroase luni; t_{13} — temperatura medie la ora 13 a celei mai călduroase luni; $t_{e,\,med}$ — temperatura medie a celei mai călduroase luni; A_{ech} — amplitudinea echivalentă funcție de radiația solară; ψ — coeficient care ține cont de neconcordanța maximelor de atingere a temperaturilor mediului exterior și a radiației solare; J_{max} — intensitatea radiației solare maxime în 24 ore; J — intensitatea radiației solare medii în 24 ore. Umiditatea aerului exterior are o mai mică importanță în calculul izolațiilor termice, ținînd cont că în zonele cu climă temperată ea variază între (70—100)% iarna și (40—70)% vara. La calcule se ia în considerație influența vîntului asupra pierderilor de căldură. Cînd se stabilește cantitatea de căldură necesară se au în vedere concordanța dintre temperatură și vînt, diferența dintre temperatură și vînt și diferența de inerție termică a elementelor de construcție. La aceasta, se adaugă și umiditatea datorită ploii, care va influența asupra proprietăților termice ale izolațiilor și asupra durabilității lor. Instalațiile de încălzire din locuințe se dimensionează în funcție de capacitatea de izolare termică a elementelor exterioare. Această capacitate se determină astfel, încît să asigure o anumită temperatură pe suprafața interioară a pereților, care va împiedica condensarea vaporilor și va evita pierderile de căldură excesivă prin radiație ale corpului omenesc către pereți. Rezistența termică a elementelor exterioare de construcție, în regim permanent, iarna, este:

$$R_{nec}=\frac{\Delta t}{\Delta t_{max}}\cdot n\cdot m\cdot R_i=$$

$$=R_i+R(S_i+n_i+F_i)+R_e\ \ [\mathrm{m^2\cdot K/W}],$$

unde: $\Delta t=t_i—t_e$ — diferența dintre temperatura aerului interior și cel exterior; $\Delta t_{max}=t_i—t_s$ — diferența maximă dintre temperatura aerului interior și cea a suprafețelor interioare; n — coeficient funcție de de inerția termică a elementelor de construcție, și anume $n=(1{,}15—1{,}10)$ la elemente ușoare, $n=1$ la elemente mijlocii, $n=0{,}93$ la elemente grele; m — coeficient funcție de poziția elementelor de construcție față de aerul exterior; R_i, R_e — rezistențele termice la interior și exterior. La încăperile încălzite discontinuu, R_{nec} se mărește în funcție de densitatea specifică a materialului pereților, de finisarea interioară a pereților și de grosimea pereților în funcție de zona de temperatură exterioară.

Scanned with OKEN Scanner

La instalațiile frigorifice, grosimea necesară stratului izolator i pentru a realiza un preț de cost minim, este:

$$\delta_i = R_0 + \lambda_i + \sqrt{\frac{(c_1 \cdot z + p \cdot c_2)\lambda_i (t_e - t_i)}{p \cdot c}} \quad [\text{m}],$$

unde: R_0 este rezistența termică a peretelui [m²·K/W]; λ_i — conductibilitatea termică a materialului stratului izolator în [W/m·K]; c_1 — prețul de cost al frigoriilor [lei/frigorie]; z — numărul de ore/an în timpul cărora pătrunde căldură în instalația frigorifică; p — amortizarea instalațiilor instalației și a izolației [%]; c_2 — prețul de cost al frigoriilor instalate [lei/frigorie]; c — prețul a 1/m³ de izolație; t_e — temperatura exterioară de calcul; t_i — temperatura din interiorul instalației frigorifice.

Grosimea izolației termice a conductelor este dată de relația:

$$t_e - t_2 = \frac{t_1 - t_1}{1 + \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_e}{d_i} \alpha_e \cdot d_e},$$

în care: t_e este temperatura suprafeței exterioare a conductei; t_1 — temperatura mediului din conductă; t_2 — temperatura aerului înconjurător; d_i, d_e — diametrul interior, respectiv exterior al izolației; λ_i — conductibilitatea termică a materialului izolației termice [W/m·K]; α_e — coeficientul de transmitere a căldurii la suprafața izolației [W/m²·K].

IZOTERMĂ. Transformare termodinamică de stare a gazelor, efectuată la temperatură constantă, T = const., care reprezintă cazul particular al politropiei (pv^n = const) cu exponent politropic $n=1$.

Ecuația i. la gaze perfecte este:

$$pv = p_1 v_1 = p_2 v_2 = \text{const.}$$

În cursul unei transformări izoterme de la starea inițială 1 la starea finală 2, lucrul mecanic efectuat de gazul perfect este egal cu căldura schimbată cu exteriorul:

$$L_{12} = Q_{12} = m \int_1^2 p\,dV = mRT \ln \frac{v_2}{v_1} =$$

$$= mRT \ln \frac{1}{p_2} = mp_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1} \quad [\text{J}]$$

Lucrul mecanic dezvoltat într-o turbomașină (L_t) este egal cu lucrul mecanic al transformării într-o mașină cu piston (L) deci $L_{t12} = L_{12}$.

Variația energiei interne și entalpiei este nulă la gazul perfect, deci $dU=0$; $dH=0$, deci i. este și izoentalpă și transformare de energie internă constantă.

La gazele reale, în domeniul vaporilor umezi izobara și i. sînt reprezentate de aceeași curbă datorită dependenței dintre presiunea și temperatura de saturație. Variația energiei interne și a entalpiei în procesul de vaporizare este dată de căldura internă de vaporizare ρ, respectiv de căldura de vaporizare r, deci între $x=0$ și $x=1$ rezultă:

$$u'' - u' = \rho; \quad h'' - h' = r \quad [\text{J/kg}].$$

Variația de entropie la gazul perfect se determină cu relația:

$$s'' - s' = \frac{r}{T_s},$$

iar la gazul real, în domeniul vaporilor saturați, umezi între $x=0$ și $x=1$, rezultă:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 mR \frac{dv}{v} = mR \ln \frac{v_2}{v_1} =$$

$$= mR \ln \frac{p_1}{p_2} \quad [\text{J}].$$

La gazul perfect, i. se reprezintă printr-o hiperbolă echilateră în diagrama p—v (Fig. I.145) și printr-o dreaptă paralelă cu axa entropiei în diagrama T—s (Fig.

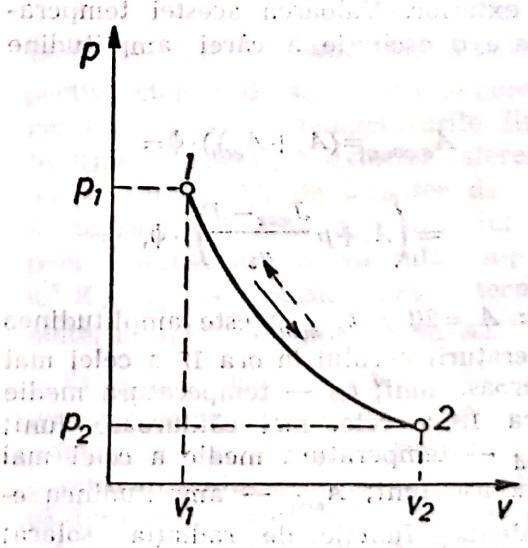


Fig. I.145. Izoterma gazului perfect în diagrama p—v; 1—2 destindere; 2—1 compresie.

I.146). Pentru gazul real, **i.** are, în diagrama $p—v$, o alură apropiată de hiperbolă, în domeniul lichidului respectiv a vaporilor supraîncălziți și este paralelă cu axa volumelor în domeniul vaporilor umezi (Fig. I.147); în diagrama $T—s$, ea este o paralelă cu axa entropiei (Fig. I.148); în diagrama $h—s$, este aproximativ paralelă cu axa entropiei în domeniul lichidului și a vaporilor supraîncălziți, atunci cînd aceștia se află departe de curba de saturație și este oblică cu panta $(\partial h/\partial s)_T = T = \text{const}$, în domeniul vaporilor umezi

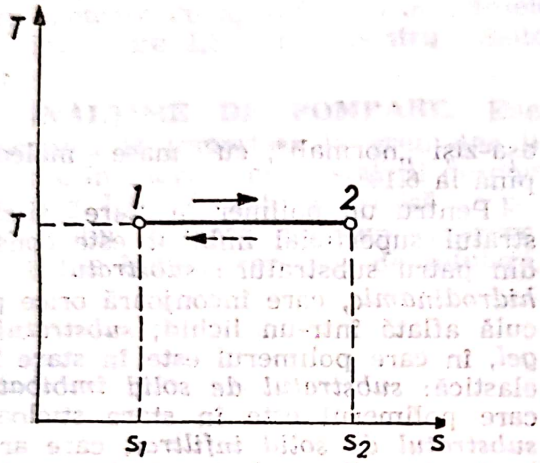


Fig. I.146. Izoterma gazului perfect în diagrama $T—s$.

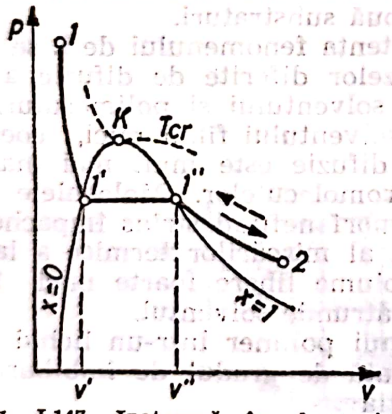


Fig. I.147. Izotermă în domeniul bifazic în diagrama $p—v$.

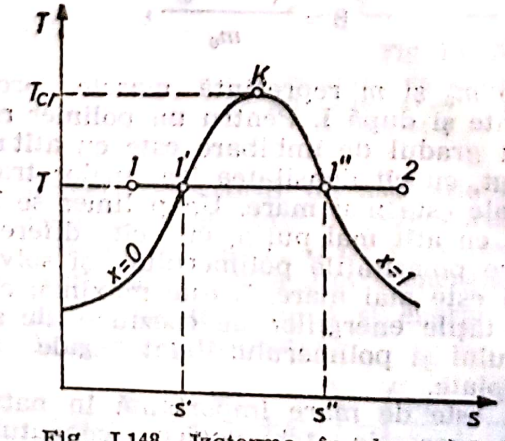


Fig. I.148. Izoterma în domeniul bifazic în diagrama $T—s$.

(Fig. I.149); în diagrama $p—h$, **i.** este apropiată de o paralelă cu axa presiunilor în domeniul lichidului și a vaporilor supraîncălziți, atunci cînd aceștia se află departe de curba de saturație și este paralelă cu axa entalpiei în domeniul vaporilor umezi (Fig. I.150).

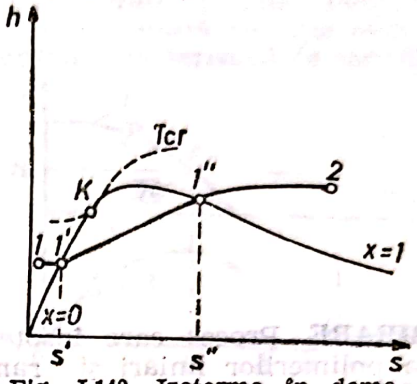


Fig. I.149. Izoterma în domeniul bifazic în diagrama $h—s$.

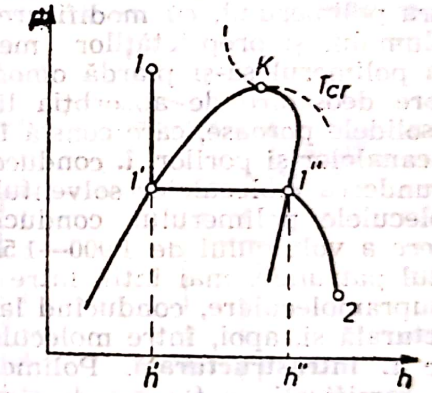


Fig. I.150. Izoterma în domeniul bifazic în diagrama $p—h$.

I. de reacție reprezintă criteriul termodinamic pentru stabilirea posibilității unei reacții la p și T constante, deci:

$$\Delta G^r = -R_M T \ln K_0 + R_M T \ln K_a \quad [\text{J/mol}],$$

în care: K_0 este constanta de reacție la starea standard; K_a — constanta termodinamică de echilibru la temperatura T funcție de afinitățile reactanților; R_M — constanta universală ($R_M = 8{,}315$ J/mol. K); T — temperatura [K].

IZOTROPIE. Proprietate a substanțelor de a-și menține constante mărimile fizico-chimice locale, pe una sau mai multe direcții, în interiorul lor.

Mineralele și substanțele sintetice amorfe sînt, în general, izotrope pentru toate proprietățile fizice, iar cele cristalizate în sistemul cubic, sînt izotrope numai pentru anumite proprietăți fizice (optice) sau chimice (compoziție), dar pot fi anizotrope pentru altele (viteză de creștere, coeziune etc.).

Gazele și lichidele sînt izotrope, cu excepția cristalelor lichide.

Scanned with OKEN Scanner

Î

ÎMBIBARE. Proces care însoțește dizolvarea polimerilor liniari și ramificați flexibili. În primul stadiu al dizolvării, are loc pătrunderea moleculelor de solvent în structura polimerului, cu modificarea masei, volumului și proprietăților mecanice fără ca polimerul să-și piardă omogenitatea. Spre deosebire de absorbția lichidelor în solidele poroase, care constă în umplerea canalelor și porilor, **î.** conduce, deci, la pătrunderea moleculelor solventului între moleculele polimerului, conducînd la o creștere a volumului de 1 000—1 500 ori. Solventul pătrunde, mai întîi, între structurile supramoleculare, conducînd la **î. interstructurală** și, apoi, între molecule, cînd are loc **î. intrastructurală.** Polimerii liniari și ramificați, în funcție de structura lor și a solventului, se pot îmbiba limitat sau nelimitat, pe cînd cei reticulați, avînd legături chimice între catene, se pot îmbiba numai limitat.

Îmbibarea poate rămîne la stadiul de pătrundere a moleculelor de solvent în polimer și se numește **î. limitată,** sau poate conduce la dizolvare, fenomen de lungă durată datorită difuziei lente a macromoleculelor și se numește **î. nelimitată.**

Pe suprafața particulelor de polimer supuse dizolvării se formează un strat superficial îmbibat, iar timpul necesar pentru formarea acestuia este cunoscut sub numele de *perioadă de cvasiinducție.* Timpul necesar pentru formarea acestui strat este direct proporțional cu coeficientul de difuzie al moleculelor solventului și invers proporțional cu grosimea sa, coeficientul de proporționalitate fiind 1/6. Grosimea stratului superficial îmbibat depinde de: viteza cu care se face agitarea, temperatura și masa moleculară a polimerului. Aceasta scade cu creșterea numărului Reynolds, crește cu mărirea temperaturii și variază direct proporțional cu radical din masa moleculară pentru polimerii așa-zișii „normali", cu mase moleculare pînă la 6.10^5.

Pentru un polimer în stare sticloasă, stratul superficial îmbibat este constituit din patru substraturi: *substratul de fluid hidrodinamic,* care înconjoară orice particulă aflată într-un lichid; *substratul de gel,* în care polimerul este în stare înalt-elastică: *substratul de solid îmbibat,* în care polimerul este în stare sticloasă și *substratul de solid infiltrat,* care are golurile și porii umpluți cu solvent. Un polimer în stare înalt-elastică are numai primele două substraturi.

Existența fenomenului de **î.** se datorează vitezelor diferite de difuzie ale moleculelor solventului și polimerului: moleculele solventului fiind mici, coeficientul lor de difuzie este mult mai mare decît al macromoleculelor. Moleculele polimerului amorf nefiind strîns împachetate, ca rezultat al mișcărilor termice a lanțurilor apar volume libere foarte mici în care poate pătrunde solventul.

I. unui polimer într-un lichid este caracterizată de gradul de îmbibare β, dat de relația:

$$\beta = \frac{(m - m_0)}{m_0},$$

unde m_0 și m reprezintă masele probei înainte și după **î.** Pentru un polimer reticulat gradul de îmbibare este cu atît mai scăzut, cu cît densitatea legăturilor transversale este mai mare. Un polimer se îmbină cu atît mai puțin, cu cît diferența dintre polaritățile polimerului și solventului este mai mare. **I.** este maximă, cînd densitățile energiilor de coeziune ale solventului și polimerului sînt egale sau apropiate.

I. este de mare importanță în natură și în procesele tehnologice, constituind baza unor procese ca: gelifiere (a amido-

Scanned with OKEN Scanner

nului), mercerizare (în industria textilă), tăbăcire (a pieilor). Unele fenomene din organismele animale și vegetale se atribuie, de asemenea, î.

ÎMBOGĂȚIREA AMESTECULUI. Mărirea cantității de combustibil din amestecul teoretic aer-combustibil la motoarele cu ardere internă. Pentru motoare cu aprindere prin scînteie, coeficientul de exces de aer λ, variază de obicei în limitele $0{,}70 \leqslant \lambda \leqslant 1{,}3$, iar pentru motoare diesel, $\lambda = 1{,}2 \ldots 1{,}8$.

Se spune că amestecul este îmbogățit dacă λ tinde spre valoare 0,7 ... 0,8 pentru motoare cu aprindere prin scînteie și λ tinde spre 1,3 ... 1,2 pentru motoare diesel.

ÎNĂLȚIME DE POMPARE. Energia specifică H (raportată la greutatea lichidului), în cadrul unei instalații de pompare (Fig. Î.1) care este transmisă de pompă lichidului pompat dintr-un rezervor de aspirație într-un rezervor de refulare. De obicei, rezervorul de aspirație este la o cotă inferioară față de rezervorul de refulare, și ca urmare **î. de p.** poate fi exprimată ca diferența dintre energia specifică la ieșirea din pompă și energia specifică la intrarea în pompă:

$$H = \left(\frac{p_e}{\rho} + \frac{w_e^2}{2} + g z_e\right) - \left(\frac{p_i}{\rho} + \frac{w_i^2}{2} + g z_i\right),$$

în care p_e și p_i reprezintă presiunile (absolute sau relative) în secțiunea de ieșire din pompă și, respectiv, în cea de intrare; w_e și w_i vitezele; z_e și z_i — cotele în aceste secțiuni.

Î. de p., denumită și **sarcina de pompare**, variază în funcție de debitul pompat Q și de turația pompei. Pentru o turație constantă, această variație este exprimată de curba caracteristică de sarcină (Fig. Î.2),

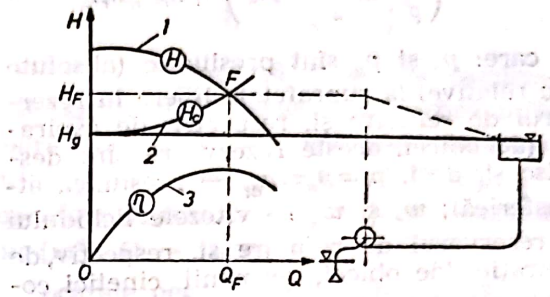


Fig. Î.2. Caracteristicile pompei și rețelei: *1* — caracteristica pompei; *2* — caracteristica rețelei; *3* — curba de randament a pompei.

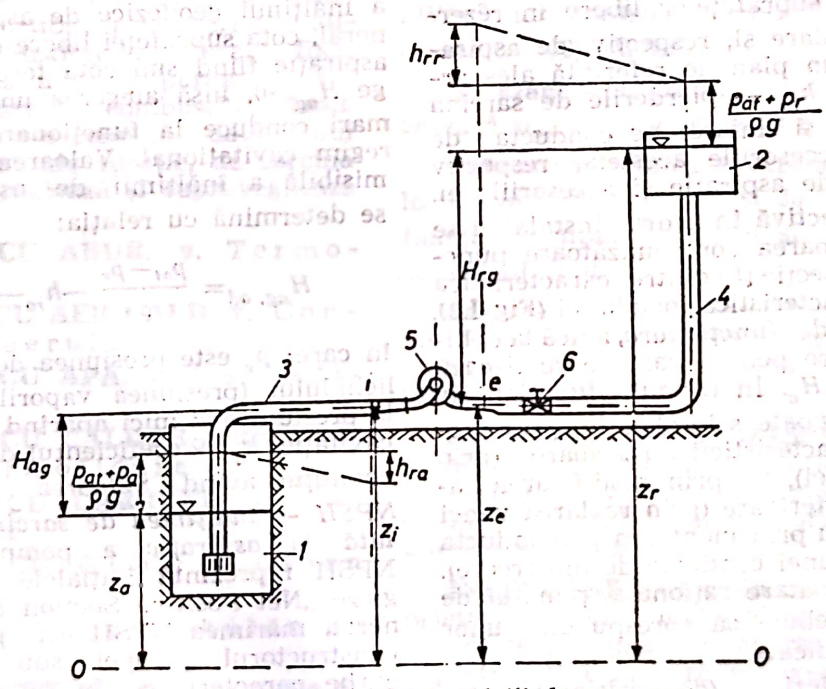


Fig. Î.1. Schema unei instalații de pompare: *1* — rezervor de aspirație; *2* — rezervor de refulare; *3* — conducta de aspirație; *4* — conducta de refulare; *5* — pompă; *6* — vană de închidere; *7* — intrare în pompă; *8* — ieșire din pompă

numită și *caracteristica interioară a pompei.*

Pentru a obține debitul pompat și sarcina efectivă a pompei în cadrul unei instalații se determină și *caracteristica exterioară* (caracteristica instalației), care exprimă variația în funcție de debit a sarcinii H_c necesară pentru transportul lichidului din rezervorul de aspirație pînă

la intrarea în pompă (pe conducta de aspirație) și de la ieșirea din pompă pînă la rezervorul de refulare (pe conducta de refulare):

$$H_c=\left(\frac{p_r}{\rho}+\frac{w_r^2}{2}+gz_r\right)-\left(\frac{p_a}{\rho}+\frac{w_a^2}{2}+gz_a\right)+h_{re}+h_{rr}.$$

în care: p_r și p_a sînt presiunile (absolute sau relative) la suprafețele libere în rezervorul de refulare și, respectiv, de aspirație (de obicei, aceste rezervoare sînt deschise și, deci, $p_r=p_a=p_{at}$ — presiunea atmosferică); w_r și w_a — vitezele lichidului în rezervorul de refulare și, respectiv, de aspirație (de obicei, termenii cinetici corespunzători acestor viteze, $w_r^2/2$ și respectiv $w_a^2/2$, sînt de valori neglijabile); z_r și z_a — cotele suprafețelor libere în rezervorul de refulare și, respectiv, de aspirație, față de un plan de referință ales arbitrar; h_{rr} și h_{ra} — pierderile de sarcină totale (locale și liniare) pe conducta de refulare și accesoriile acesteia, respectiv pe conducta de aspirație și accesoriile ei.

Î. de p. efectivă în cadrul instalației se obține ca valoarea corespunzătoare punctului de intersecție (F) dintre caracteristica pompei și caracteristica instalației (Fig. I.2), numit *punct de funcționare*, adică la debitul de pompare pentru care se realizează egalitatea $H=H_c$. În timpul funcționării, punctul F se poate schimba, fie prin modificarea caracteristicii interioare (prin variația turației), fie prin modificarea caracteristicii exterioare (prin reglarea vanei de refulare sau prin montarea pe conducta de refulare a unei conducte de întoarcere). Pentru o exploatare rațională, punctul de funcționare trebuie să corespundă unor randamente ridicate.

Î. de p. geodezică (de poziție) H_g reprezintă diferența dintre cota z_r a secțiunii de ieșire din instalație, la refulare (suprafața liberă în bazinul de refulare) și cota z_a a secțiunii de intrare în instalație, la aspirație (suprafața liberă în bazinul de aspirație),

$$H_g=g(z_r-z_a).$$

Î. de p. statică H_{st} reprezintă diferența de înălțime energetică ($p/\rho+w^2/2+gz$) dintre secțiunea de ieșire și, respectiv, de intrare în instalația de pompare pentru un debit pompat nul ($Q=0$),

$$H_{st}=H_g+\frac{p_r-p_a}{\rho}.$$

Pentru o instalație de pompare la care atît rezervorul de aspirație, cît și cel de refulare sînt deschise ($p_a=p_r=p_{at}$), înălțimea geodezică H_g se confundă cu înălțimea statică H_{st} ($H_g=H_{st}$).

Î. de aspirație geodezică a instalației de pompare H_{ag} reprezintă diferența dintre cota în secțiune de intrare în pompă z_i și cota la intrarea în instalație, la aspirație z_a (cota suprafeței libere în bazinul de aspirație).

$$H_{ag}=(z_i-z_a)g.$$

Determinarea cotei la care se amplasează pompa se face prin alegerea adecvată a înălțimii geodezice de aspirație. În general, cota suprafeței libere din bazinul de aspirație fiind sub cota terenului, se alege $H_{ag}>0$, însă alegerea unei valori prea mari conduce la funcționarea pompei în regim cavitațional. Valoarea maximă admisibilă a înălțimii de aspirație $H_{ag,\,ad}$ se determină cu relația:

$$H_{ag,\,ad}=\frac{p_{at}-p_v}{\rho}-h_{ra}-k_s\cdot\mathrm{NPSH},$$

în care: p_v este presiunea de vaporizare a lichidului (presiunea vaporilor saturanți), la presiuni mai mici apărînd fenomenul de cavitație; k_s — coeficientul de siguranță la *cavitație*, avînd valoarea $k_s=1{,}2\ldots1{,}3$; *NPSH — înălțimea de sarcină netă absolută la aspirație* a pompei. Simbolul NPSH reprezintă inițialele expresiei engleze „Net Positive Suction Head". În general, mărimea NPSH este prezentată de constructorul pompei sub forma unei curbe caracteristice, în funcție de debit.

Î. de aspirație H_a reprezintă suma dintre înălțimea de aspirație geodezică H_{ag} și pierderile de sarcină totale pe conducta de aspirație h_{ra}:

$$H_a=H_{ag}+h_{ra}.$$

Î. de refulare geodezică H_{rg}, reprezintă diferența dintre cota în secțiunea de ieșire a lichidului din instalația de pompare z_r și cota la ieșirea din pompă, z_i:

$$H_{rg}=(z_r-z_i)\,g.$$

Scanned with OKEN Scanner

Î. de refulare H_r reprezintă suma dintre înălțimea de refulare geodezică H_{rg} și pierderile de sarcină totale pe conducta de refulare h_{rr}:

$$H_r = H_{rg} + h_{rr}.$$

Pentru instalații de pompare, cu rezervoarele de aspirație și refulare deschise, se deosebesc următoarele tipuri:

— pompă cu aspirație, la care $H_{ag} > 0$;

— pompă înecată (cu contrapresiune), la care $H_{ag} < 0$;

— pompă cu refulare directă, la care $H_{rg} > 0$;

— pompă sifon, la care $H_{rg} \leqslant 0$.

ÎNCĂRCAREA MAȘINII TERMICE. Gradul de folosire a puterii [$\varepsilon = \frac{P_{momenta}}{P_{maxim}} \times 100$ (în procente)] a mașinii termice. Încărcarea se poate regla prin variația turației de funcționare la o alimentare constantă cu combustibil, prin variația alimentării cu combustibil la o turație fixă, sau prin variația ambilor parametri, turație și alimentare cu combustibil. **Î.m.t.** este variată printr-o comandă dată unui regulator automat (de turație, de sarcină sau mixt), care reglează și supraveghează menținerea ei.

ÎNCĂLZIRE CU ABUR. v. Termoficare

ÎNCĂLZIRE CU AER CALD. v. Condiționarea aerului

ÎNCĂLZIRE CU APĂ. v. Termoficare

ÎNCĂLZIRE CU CĂLDURĂ RECUPERATĂ. v. Termoficare

ÎNCĂLZIRE CU CĂRBUNI. v. Cazan de abur

ÎNCĂLZIRE CU GAZE. v. Cazan de abur

ÎNCĂLZITOR. v. Schimbător de căldură.

ÎNCĂRCARE TERMICĂ (la cazanele de abur). Puterea termică dezvoltată sau transferată de o sursă de căldură pe unitatea de volum sau de suprafață a cazanului. Această mărime este specifică generatoarelor de abur atît din centralele clasice, cît și din cele nucleare, precum și schimbătoarelor de căldură.

La generatoarele de abur clasice, se disting următoarele tipuri de încărcări:

— **î.t. volumică a focarului:**

$$q_v = \frac{B_{ef} H_i}{V_f} \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^3}\right];$$

— **î.t. a suprafeței grătarului** (la cazanele cu arderea combustibilului solid pe grătar):

$$q_{gr} = \frac{B_{ef} \cdot H_i}{S_{gr}} \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}\right];$$

— **î.t. a suprafeței de transfer de căldură** (a ecranelor):

$$q_s = \frac{B_{ef} \cdot H_i}{S_t} \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}\right],$$

în care: B_{ef} reprezintă debitul de combustibil [kg/s]; H_i — puterea calorifică inferioară [kJ/kg]; V_f — volumul focarului [m³]; S_{gr} — suprafața grătarului [m²]; S_t — suprafața de transfer de căldură a cazanului; [m²]; Q — fluxul termic [kW].

Focarele pentru combustibili solizi au încărcarea termică $q_v = (50—160)$ kW/m³; pentru combustibili gazoși $q_v = (100—300)$ kW/m³, iar pentru combustibili lichizi $q_v = (200—300)$ kW/m³.

La cazanele cu grătar rulant, încărcarea termică q_{gr} variază între 20 și 35 kW/m².

Încărcarea termică a ecranelor focarelor q_s variază între 100 și 350 kW/m², în funcție de tipul focarului și de natura combustibilului.

Arderea sub presiune (cazane tip Velox sau Vuia) permite ca încărcarea termică a focarului să crească pînă la valorile de 6 000—11 000 kW/m³.

ÎNCĂRCĂTURĂ PROASPĂTĂ. Fluid proaspăt (aer, amestec combustibil — aer, abur etc.), aflat în cilindrii mașinii termice în momentul închiderii orificiilor de admisie a fluidului.

ÎNCERCARE. Determinare a unor proprietăți ale unui material sau ale unui sistem tehnic (mașină, aparat etc.) prin experimentări în care se exercită asupra acestora diverse solicitări.

În general **î.** se efectuează în următoarele cazuri: pentru a stabili dacă materialele sau sistemul au sau nu anumite proprietăți impuse; pentru a determina factorii care condiționează acele proprietăți și corelațiile respective; pentru a determina influența factorilor și condițiilor de încercare asupra rezultatelor obținute la un anumit material.

Î. se clasifică după diferite criterii. Astfel, *după stadiul de fabricație și folosință*, se deosebesc:

Scanned with OKEN Scanner

— **î. de uzină (sau de casă),** care se efectuează într-o fabrică sau uzină, pentru a determina dacă un material sau un sistem tehnic are proprietăţile prescrise, sau ca să se determine valorile limită de funcţionare necesare;

— **î. de recepţie,** efectuate în prezenţa beneficiarului, pentru a stabili dacă un material sau sistem tehnic satisface anumite prescripţii;

— **î. de serviciu,** care se efectuează periodic sau incidental asupra sistemelor fizice în serviciu pentru a vedea dacă sistemul respectiv mai îndeplineşte condiţiile cerute.

Din punct de vedere al materialelor folosite, se deosebesc:

— **î. fizice şi chimice,** după proprietăţile la care se referă;

— **î. tehnologice şi netehnologice,** după cum acestea se referă sau nu la comportarea la prelucrare.

La sistemele tehnice se folosesc:

— **î. de prototip sau încercări de serie,** după cum se limitează la un obiect sau se extinde la un lot de obiecte;

— **î. de maşini, aparate, organe de maşini, instalaţii şi elemente de instalaţii, construcţii** etc., după felul sistemului tehnic.

ÎNECAREA MOTORULUI. Îmbogăţirea exagerată a amestecului carburant la motoarele cu ardere internă cu aprindere prin scînteie, datorită unui exces de combustibil în camera de ardere. **Î.m.** induce dificultăţi privind demararea motorului, sau oprirea motorului, cînd fenomenul apare în timpul funcţionării.

Motorul se poate „îneca" din următoarele motive:

— deficienţe în sistemul de alimentare cu combustibil, carburatorul debitînd mai mult combustibil decît este necesar;

— prezenţa unor vapori de combustibil în exces în galeria de admisie, în condiţii de temperatură ridicată;

— exces de combustibil în camera de ardere la temperatură scăzută, sau deficienţe de aprindere.

Evitarea **î.m.** se poate face prin aerisirea galeriilor de admisie şi camerei de ardere, acţionînd demarorul (sau învîrtind arborele cotit manual), obturatorul carburatorului fiind complet deschis şi/sau alimentarea cu combustibil întreruptă.

ÎNTÎRZIERE LA APRINDERE. În motoarele cu aprindere prin scînteie, **î. la a.** reprezintă durata în timp care se desfăşoară din momentul declanşării scînteii electrice pînă la creşterea bruscă şi substanţială a presiunii gazelor în cilindrii motorului. În diagrama indicată, trasată în coordonate presiune — unghi de rotaţie arbore (Fig. Î.3) **î. la a.** este evidenţiată

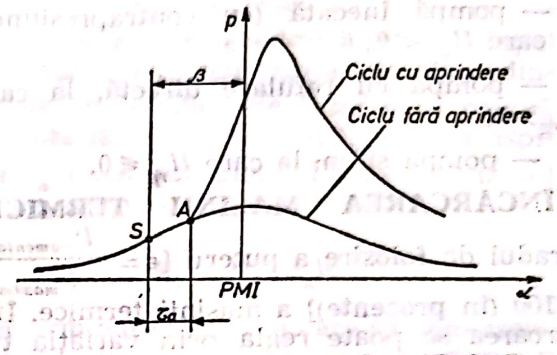


Fig. Î.3. Variaţia presiunii în cilindrul unui motor cu şi fără aprindere a combustibilului: *S* — declanşarea scînteii; *A* — începutul arderii vizibile; *PMI* — punctul mort interior; β — avansul la aprindere; τ_a — întîrzierea aprinderii (arderea invizibilă).

prin durata măsurată în unghiuri de rotaţie arbore (τ_a) între declanşarea scînteii electrice (punctul *S*) şi desprinderea curbei presiunii ciclului cu aprindere de curba presiunii ciclului fără aprindere (punctul *A*).

Perioada **î. la a.** reprezintă prima fază a arderii (arderea invizibilă) în motorul cu aprindere prin scînteie, fiind controlată de parametrii fizico-chimici ai amestecului de gaze din cilindru (presiune, temperatură, dozaj). În această perioadă, se formează nucleul iniţial de flacără, care se dezvoltă pînă la o anumită dimensiune, la care căldura degajată din reacţie este suficientă pentru a determina creşterea de presiune sesizabilă de traductorul de presiune [v. Proces de ardere (Aprindere monostadială)].

La motoarele diesel, întîrzierea la autoaprindere are un caracter specific procesului de ardere al amestecurilor eterogene [v. Autoaprindere (Întîrziere la)].

J

JET DE COMBUSTIBIL LICHID (la motoare cu ardere internă). Vână de combustibil lichid, rezultată ca urmare a traversării la presiune ridicată a unui orificiu calibrat. La motoarele cu aprindere prin comprimare, **j. de c. l.** constituie rezultatul procesului de injecție (v. Injecție). Pompa de injecție comprimă combustibilul lichid la presiuni de ordinul a sute și chiar mii de daN/cm^2, care, ulterior, este pulverizat în camera de ardere prin intermediul unui pulverizator cu unul sau mai multe orificii calibrate (diametrul orificiilor de pulverizare variază între 0,14 și 1,6 mm).

Schema simplificată a unui **j. de c. l.** este prezentată în figura J.1. Jetul se compune dintr-o *zonă centrală*, care are formă de vână lichidă și o *zonă periferică* (anvelopa jetului), alcătuită din picături de combustibil de dimensiuni diferite. Distribuția combustibilului lichid în jet variază cu distanța de la axa jetului și cu depărtarea de la orificiul de pulverizare. Viteza w este distribuită în secțiunea transversală (w_y) ca și concentrația, deoarece picăturile mai grele au vitezele mai mari.

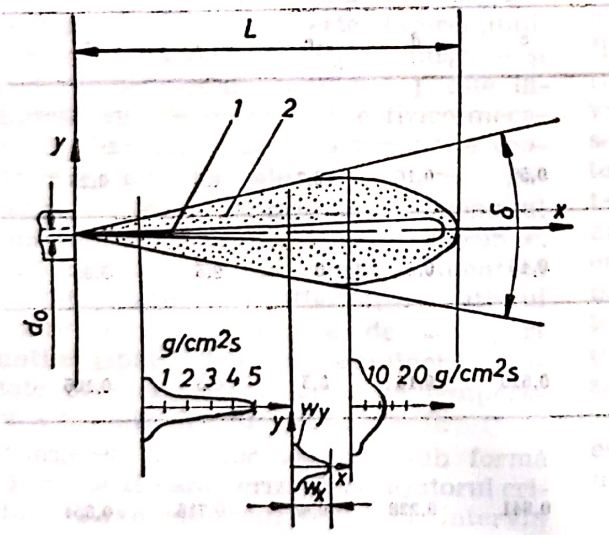


Fig. J.1. Schema jetului de combustibil: *1* — zona centrală; *2* — anvelopa jetului.

J. de c. l. se caracterizează prin patru parametri fundamentali, care alcătuiesc caracteristicile jetului: finețea pulverizării, omogenitatea pulverizării, penetrația jetului în mediu și unghiul de dispersie a jetului. În procesul de formare a amestecului la motoarele diesel, primii doi parametri au un rol hotărîtor în desfășurarea procesului de vaporizare, ultimii doi fiind cu deosebire importanți pentru amestecarea combustibilului cu aerul din cilindru.

Finețea pulverizării reprezintă gradul de fărîmițare a jetului de combustibil în particule și se apreciază prin diametrul mediu al acestora. Întrucît jetul de combustibil este alcătuit din picături de dimensiuni variate, pentru determinarea diametrului mediu al picăturii se iau în considerare: diametrul mediu aritmetic; diametrul mediu de suprafață; diametrul mediu de volum etc. Dacă z este numărul de picături de un diametru d_p determinat, atunci diametrul mediu aritmetic este $dm_a = \Sigma z d_p / \Sigma z$; acesta rezultă din condiția ca numărul picăturilor de combustibil să rămînă neschimbat. Dacă prin mediere se urmărește să se păstreze nemodificată suprafața tuturor picăturilor, atunci se obține diametrul mediu de suprafață $dm_s = [\Sigma z d^2 / \Sigma z]^{1/2}$; analog, pentru conservarea volumului $d_{m_v} = [\Sigma z d_p^3 / \Sigma z]^{1/3}$. Pentru calculul vaporizării se utilizează frecvent diametrul mediu Sauter, precizat de relația:

$$d_S = 1{,}445 \frac{d_0^{0{,}6607} \sigma_c^{0{,}1927} \eta_c^{0{,}1466}}{\rho_a^{0{,}266} \rho_c^{0{,}0733} w_0^{0{,}532}}$$

în care: d_0 reprezintă diametrul orificiului de pulverizare; σ_c — tensiunea superficială a picăturii de combustibil; η_c — vîscozitatea dinamică a combustibilului; ρ_a și ρ_c — densitatea aerului cu care se amestecă combustibilul pulverizat și, respectiv, a combustibilului; w_0 — viteza combustibilului prin orificiul de pulverizare.

Omogenitatea pulverizării reprezintă frecvența de apariție a unor picături cu diametre cuprinse într-un interval determinat, centrat în jurul diametrului mediu. În cazul ideal, cînd toate picăturile au același diametru, pulverizarea devine perfectă, iar omogenitatea este maximă. În realitate pulverizarea este imperfectă. Dacă d_{m_p} este diametrul mediu cel mai probabil și $\Delta d_{m_p} = d_1 - d_2$ o abatere față de d_{m_p}, atunci produsul $\Phi \Delta d_{m_p}$ (Φ — funcția de repartiție sau caracteristica pulverizării) reprezintă o măsură a omogenității pulverizării.

Penetrația jetului reprezintă drumul L parcurs de partea frontală a jetului într-un timp determinat. Penetrația trebuie să fie astfel, încît în timpul funcționării jetul să străbată întreaga cameră de ardere fără să atingă pereții cilindrului. Dacă penetrația este mare, combustibilul ajunge pe cilindru, unde suferă modificări chimice lente, arde incomplet, produce depozite de calamină în camera de ardere și fum în gazele de evacuare. Dacă penetrația jetului este mică, rămîn zone periferice de aer neutilizate, iar combustibilul arde incomplet.

Se consideră că penetrația este determinată de structura jetului, care se modifică pe măsura înaintării. Penetrația și viteza jetului sînt precizate de relațiile generale ale lui A. S. Lîșevski:

$$L = A \cdot \frac{d_0^a w_0^b \rho_c^c \cdot \eta_c^d \tau^e}{\rho_a^f \cdot \tau_c^g} \text{ [m]},$$

$$w_x = B \frac{d_0^a w_0^b \rho_c^c \eta_c^d}{L^e \rho_a^f \tau_c^g} \text{ [m/s]},$$

unde τ reprezintă timpul [s], iar coeficienții A, B și $a \ldots g$ sînt precizați în tabelul J.1, pentru situațiile în care se acceptă

Tabelul J.1

Valorile coeficienților din relațiile de calcul ale penetrației și vitezei jetului de combustibil

Mărimea	Coeficienții								
	A	B	a	b	c	d	e		g
Penetrația în etapa inițială, L_1	0,067	—	0,39	1,04	0,59	0,16	0,7	0,5	0,25
Penetrația limită, L_2	8,85	—	0,85	0,5	0,45	0,8	0	0,6	0,65
Penetrația în etapa finală, L_2	0,51	—	0,525	0,71	0,525	0,16	0,5	0,5	0,185
Viteza în etapa inițială, w_{x_1}	—	0,0149	0,556	1,48	0,841	0,228	0,43	0,715	0,354
Viteza în etapa finală, w_{x_2}	—	0,13	1,05	1,42	1,05	0,32	1	1	0,37

Unități de măsură: d_0 [m]; w_0 [m/s]; ρ_a și ρ_c [kg/m³]; η_c [Ns/m²]; σ_c [N/m].

Inițial se calculează L_1, care separă cele două etape, apoi se calculează L_2; dacă $L_1 \leqslant L_2$, jetul este în etapa inițială.

Scanned with OKEN Scanner

un jet care are o structură inițială formată dintr-o vână de lichid și o anvelopă a picăturii și o structură finală, formată din picături.

Unghiul de dispersie a jetului este unghiul conului format din tangentele la conturul jetului, concurente în orificiul pulverizatorului. Unghiul de dispersie δ, ca și penetrația L a jetului ilustrează distribuția combustibilului în camera de ardere. Pentru pulverizatoarele cu ac, unghiul δ se determină cu relația:

$$\delta = 2\operatorname{arctg}\left(0{,}0112 d_0^{0,39} w_0^{0,64} \rho_a^{0,5} / \rho_c^{0,11} \eta_c^{0,14} \tau_c^{0,25}\right).$$

Experimental, s-a constatat că unghiul δ este independent de timp numai după o durată relativ mare de la începutul injecției. Pe prima parte a injecției, unghiul δ scade sensibil cu timpul. Fenomenul se amplifică cu creșterea diametrului orificiului de pulverizare și a presiunii de injecție.

JET DE FLUID. Constituie o categorie aparte de curgere permanentă, cu simetrie axială, a fluidelor vîscoase reale, ce se dezvoltă sub forma unei vîne de fluid, într-un mediu staționar sau în mișcare. **J.** și mediul în care acesta evoluează alcătuiesc două sisteme ce sînt delimitate de o suprafață imaginară și spontană (de discontinuitate) prin care are loc o interacțiune reciprocă sub forma unui schimb de impuls. Ca efect al acestei interacțiuni, apare schimbul de cantitate de mișcare și transferul de căldură. Evoluția **j.** este influențată atît de proprietățile fizico-mecanice ale fluidului și de caracteristicile geometrice și mecanice ale sursei care îl generează, cît și de proprietățile și regimul de mișcare ale mediului în care pătrunde. De asemenea, evoluția **j.** este influențată de dimensiunile și configurația spațiului în care au loc procesele de transport amintite (spații deschise, semiînchise, limitate etc.) și de nivelurile de temperatură existente în cîmpul curgerii.

Curgerea fluidelor vîscoase sub formă de **j.** poate fi caracterizată cu ajutorul criteriului Reynolds, deoarece, aici, intervin în principal doar forța de inerție și de frecare vîscoasă.

Curgerea laminară a **j.** se întîlnește, în special, în zonele apropiate de gura de ieșire a **j.**, din sursa generatoare a lui în cazul în care vitezele de curgere sînt mici sau în cazul în care, deși vitezele sînt mari, temperatura este ridicată și duce la creșterea apreciabilă a vîscozității fluidului. În general, **j.** laminare au un contur neregulat și împrăștie fluidului la distanțe cu atît mai mici de gura de refulare, cu cît Re este mic.

Odată cu creșterea numărului Reynolds, caracterul curgerii se schimbă din laminar în turbulent, **j.** devine *turbulent* și își precizează conturul, capătă forma unui con și împrăștie fluidul la distanțe mari de secțiunea gurii de refulare, datorită efectului mai redus al forțelor de vîscozitate față de cele de inerție.

Specific **j.** turbulente este fenomenul de *turbulență liberă*, caracterizat prin apariția unor straturi de frecare datorită vîscozității fluidelor, echivalente cu șiruri de vîrtejuri concentrate, prezente atît la marginile **j.**, cît și în masa acestuia. În *stratul limită*, format la periferia **j.**, datorită vîscozității fluidului ambiant și mișcării relative dintre straturile de fluid, apar vîrtejuri care se propagă continuu spre interior, antrenînd particule din mediul ambiant și îngroșînd stratul limită al **j.** În *miezul* **j.** apar de asemenea vîrtejuri datorită turbulenței create în gura de refulare. Toate aceste vîrtejuri pentru a se forma și întreține consumă o energie pe care o preiau din energia cinetică a **j.** la ieșire. Energia cinetică, ca urmare a transferului realizat de la curgerea de bază la fluctuațiile turbulente, este absorbită de turbulența în care se angajează mase din ce în ce mai mari de fluid astfel că, deși energia totală a **j.** rămîne constantă pe toată lungimea lui, viteza în **j.** scade cu cît ne depărtăm de secțiunea de ieșire. Totodată, fiecare vîrtej din **j.** este supus forțelor de vîscozitate, care tind să-i micșoreze viteza. La o anumită distanță de gura de refulare, energia cinetică devine atît de mică, încît perturbațiile nu mai pot atinge intensitatea necesară învingerii forțelor vîscozității și practic mișcarea turbulentă încetează. Astfel, teoretic, **j.** are o lungime sau așa-zisa „bătaie a j". Practic, aceasta se estimează convențional după o valoare minimă impusă vitezei în ax a **j.** ($w_{ax} \leqslant 0{,}2 w_0$), sau după distanța la care dispare senzația de curent.

Într-o secțiune transversală într-un **j.** turbulent, se observă diferențe ale activității turbulente între zona de lîngă axa **j.** și cea dinspre periferie. Astfel, pe axa **j.** curgerea are proprietățile tipice turbulenței complet dezvoltate (fluctuații neregulate într-un domeniu larg de stări ale timpului cu valori de vîrf), iar spre limita

exterioară a j., activitatea turbulentă diferă avînd porțiuni de variații intense separate de intervale lungi de variații lente. La marginea j., frontiera ce separă j. turbulent de mediul înconjurător este denumită *interferență turbulentă*. De obicei, vizualizarea ei pune în evidență iregularitățile puternice ce pot atinge distanțe egale cu semilățimea j. Ele provoacă intermitențe în zona de frontieră și au un caracter tridimensional. Mișcările la scară mare ale interferenței j. turbulent joacă un rol vital în *difuzia laterală a turbulenței* (lărgirea continuă a j.) și antrenarea mediului înconjurător. Tot specific curgerii turbulente este și vîscozitatea turbulentă ν_t, care se definește ca o *vîscozitate aparentă* sau ca *vîscozitate de fluctuații* (ea nefiind o proprietate a fluidului ca vîscozitatea moleculară) și depinzînd de particularitățile curgerii turbulente respective și poziția punctului considerat.

În condițiile în care debitul j. în secțiunea de ieșire este constant și nu apar fenomene suplimentare de compresibilitate sau gravitație, se consideră că mișcarea medie și scările mari de turbulență sînt independente de numărul Reynolds (cu condiția ca acesta să fie suficient de mare pentru a asigura mișcare turbulentă complet dezvoltată, $Re \geqslant 10^5$). În aceste situații, curgerea j. turbulente libere se interpretează ca avînd o similaritate cu numărul Reynolds, iar interferența j., deși puternic distorsionată, ca avînd o poziție medie bine determinată (lărgirea j. variind de exemplu linear în lungul axei) și unghiul de divergență fiind independent de natura fluidului interior sau exterior.

J. turbulente se pot clasifica după forma secțiunii de ieșire în j. *rotunde* (obținute din evacuarea fluidului prin orificii, conducte sau ajutaje de secțiune circulară); j. *inelare*, j. *coaxiale* (jeturi compuse dintr-un j. central circular și unul sau mai multe j. inelare coaxiale); j. *plane* (obținute din orificii și ajutaje cu secțiune pătrată sau dreptunghiulară); j. *cu diferite forme ale secțiunii de ieșire* (triunghi, trapez, semieliptică, cruce etc.).

După direcția de propagare, j. pot fi *orizontale*, *înclinate* sau *verticale*, iar în raport cu axa gurii de refulare, *axiale* sau *radiale*.

În funcție de influența exercitată de suprafețele solide asupra mișcării, j. pot fi considerate *libere*, în cazul în care dimensiunile spațiului au o valoare relativ mare în raport cu dimensiunile j. (pereții incintei neexercitînd nici o influență asupra evoluției lui) sau *limitate* (j. atinge pereții spațiului în care evoluează, prezența acestora schimbînd caracteristicile curgerii).

În funcție de raportul dintre temperatura fluidului j. și temperatura mediului în care acesta evoluează, j. pot fi *izoterme* (cînd temperaturile sînt aproximativ egale) sau *neizoterme*. J. neizoterme pot fi clasificate, la rîndul lor, în j. *slab neizoterme* (cînd efectul cîmpului de temperaturi asupra cîmpului de viteze este neglijabil) și j. *puternic neizoterme* (cînd forțele arhimedice influențează asupra mișcării).

După natura fluidelor aflate în mișcarea relativă, j. pot fi de *aceeași fază* (gaz-gaz sau lichid-lichid) sau de *faze diferite*. J. de aceeași faze se pot clasifica, la rîndul lor, în funcție de diferența de densitate între ele și mediul ambiant. Se deosebesc astfel j. de aceeași densitate (în cadrul cărora se realizează numai transfer al unei singure mărimi vectoriale — impuls, vîrtej — și studiul mișcării se rezumă la cunoașterea cîmpului de viteze) sau j. cu diferență de densitate (în care are loc și un transfer de mărime scalară — căldură sau substanță sau amîndouă — iar studiul cuprinde și stabilirea cîmpurilor de temperaturi și de concentrații).

După regimul hidraulic al spațiului în care evoluează j., se deosebesc: j. *înecate* (j. ce evoluează în medii cu viteză nulă); j. *însoțite* (j. ce evoluează în medii cu viteză deferită de zero). De asemenea, mediul în care j. evoluează poate avea o mișcare liniară sau una de rotație, denumit j. *în cîmpuri turbionare*.

La rîndul lor, j. pot avea sau nu o mișcare de rotație înainte de gura de ieșire. În primul caz, este vorba de j. turbionate (denumite uneori torsionate, răsucite sau cu mișcare de rotație), iar în al doilea caz, de j. neturbionate (sau nerăsucite).

Datorită deosebirilor importante de structură și de distribuție a parametrilor curgerii ce există la j. turbionate în raport cu j. fără mișcare de rotație, majoritatea studiilor de specialitate consideră turbionarea drept criteriu principal de clasificare al j.

A) J. neturbionate. Clasificarea j. neturbionate este indicată în tabelul J.2. Curgerile sub formă de j. sînt considerate curgeri complet separate față de suportul solid ce le generează, dezvoltarea lor avînd legi specifice.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul J.2

Clasificarea jeturilor neturbionate

Denumirea jetului	Caracteristici	Natura gazului din jet	Caracteristici termice
Jet liber ($w_{ma}=0$; fără pereți limitatori)	omogen	— monofazic, monocomponent	izoterm $T_0=T_{ma}$
		— același mediu cu mediul ambiant	neizoterm $T_0 \neq T_{ma}$
	eterogen	— polifazic, policomponent	izoterm $T_0=T_{ma}$
		— mediu diferit de mediul ambiant	neizoterm $T_0 \neq T_{ma}$
Jet limitat (însoțit) ($w_{ma} > 0$; cu pereți limitativi)	omogen	— monofazic, monocomponent	izoterm $T_0=T_{ma}$
		— același mediu cu mediul ambiant	neizoterm $T_0 \neq T_{ma}$
	eterogen	— polifazic, policomponent	izoterm $T_0=T_{ma}$
		— mediu diferit de mediul ambiant	neizoterm $T_0 \neq T_{ma}$
Jeturi concurente ($w_{ma}=0$; $w_{jet_1} \neq w_{jet_2}$	omogen	— monofazic, mono- sau policomponent	izoterm $T_0=T_{jet_1}=T_{jet_2}$
		— mediu identic cu al jeturilor concurente	neizoterm $T_0 \neq T_{jet_1} \neq T_{jet_2}$
	eterogen	— monofazic, policomponent	izoterm $T_0=T_{jet_1}=T_{jet_2}$
		— mediu diferit de al jeturilor concurente	neizoterm $T_0 \neq T_{jet_1} \neq T_{jet_2}$

J. liber rotund izoterm. Este format prin evacuarea fluidului din conducte sau ajutaje de secțiune circulară. Datorită simetriei lor axiale, **j.** rotunde pot fi considerate „bidimensionale" și pot fi analizate matematic în sisteme de coordonate cilindrice. Studiile experimentale confirmă existența a trei zone distincte a curgerii în **j.** în ceea ce privește distribuțiile de viteze și concentrații (Fig. J.2).

— *Zona inițială*, aflată în imediata apropiere a ajutajului, unde se stabilește un nucleu potențial (în care se mențin valorile vitezei și concentrației fluidului în secțiunea de ieșire), iar în afara nucleului potențial se dezvoltă un strat limită liber (în care momentul și masa fluidului **j.** sînt transportate perpendicular pe

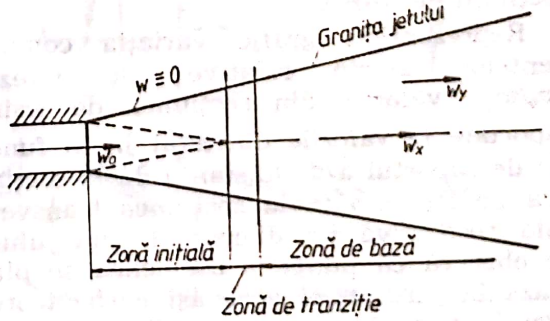


Fig. J.2. Jet liber rotund izoterm.

direcția curgerii). Lungimea zonei inițiale este de cca $4 \ldots 5d_0$;

— *Zona de tranziție* (de trecere), în care are loc o distribuire a vitezelor în secțiunea transversală a **j.** și în care se încheie lichidarea nucleului potențial;

— *Zona de bază*, în care viteza în axul **j.** se micșorează pe măsură ce distanța de la gura ajutajului crește, stratul limită este complet dezvoltat, curgerea turbulentă capătă un caracter uniform, iar **j.** este bine conturat avînd un unghi de evazare constant.

Zonele de bază ale **j.** libere turbulente sînt similare și, deci, distribuția axială și radială a vitezelor și concentrațiilor poate fi descrisă prin relații relativ simple și generale.

Una din proprietățile importante ale **j.** este antrenarea în masa lui, de masă de fluid din mediul înconjurător. Amestecarea în diferite proporții a masei fluidului **j.** cu masa fluidului antrenată din mediul înconjurător se efectuează în zona de amestecare a **j.** (zonă de strat limită), pe măsură ce **j.** se evazează și se depărtează de secțiunea de ieșire. Viteza fluidului în zona de amestecare nu este uniformă, ci variază atît pe direcție axială, cît și pe cea radială.

În fiecare din secțiunile transversale normale pe axa **j.**, impulsul total, debitul de masă și energia (măsurate în condițiile mediului ambiant) se consideră că rămîn constante și egale cu cele din secțiunea de ieșire.

Importante pentru caracterizarea **j.** sînt distribuțiile vitezei fluidului, concentrației și temperaturii în diferite secțiuni transversale pe direcția de curgere a **j.**

Experimental, s-a constatat că forma **j.** nu se modifică odată cu modificarea vitezei inițiale a acestuia. Vitezele în diferite puncte ale secțiunilor transversale prin **j.** cresc proporțional cu creșterea vitezei inițiale. În punctele asemenea, vitezele sînt egale pentru oricare din vitezele inițiale și pentru oricare din diametrele secțiunii de ieșire.

Reprezentînd grafic variația componentelor axiale relative ale vitezei (w_0/w_{xm} valorile din secțiunea de ieșire raportate la valorile din axul **j.**) în funcție de raportul x/d_0 (distanța de la secțiunea de ieșire pînă la secțiunea transversală respectivă pe diametrul ajutajului), se observă că punctele asemenea se plasează în jurul unei aceleiași curbe teoretice de variație pentru diferite valori ale lui Re și diferite diametre ale secțiunii de ieșire (Fig. J.3). Curba corespunde unei linii drepte a cărei ecuație poate fi pusă sub forma:

$$\frac{w_0}{w_{xm}} = 0{,}16\,\frac{x}{d_0} - 1{,}5.$$

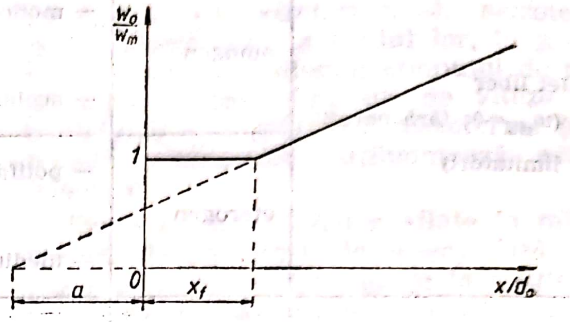


Fig. J.3. Variația vitezei relative w_0/w_m în axa jetului rotund.

Partea orizontală a curbei reprezintă distribuția vitezei în miezul potențial.

Deoarece mecanismele de transfer ale momentului și masei sînt aceleași, se poate stabili o relație similară pentru distribuția axială a concentrației:

$$\frac{C_0}{C_m} = 0{,}22\,\frac{x}{d_0} - 1{,}5.$$

Diferența dintre pantele liniilor de viteză și concentrație se datorează diferenței dintre valorile coeficienților pentru transferul turbulent al momentului și, respectiv, al masei.

Mărimile caracteristice ale unui **j.** sînt (Fig. J.4): viteza inițială w_0; dimensiunea

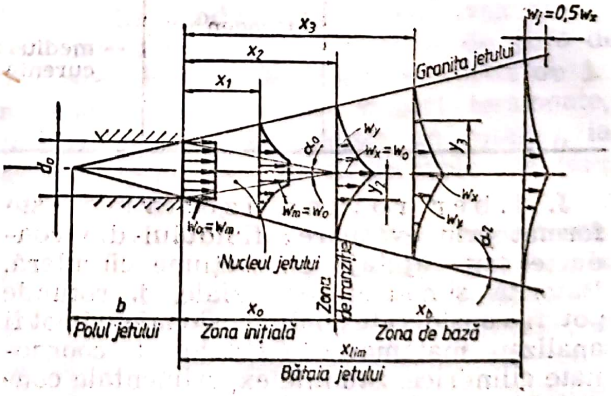


Fig. J.4. Mărimile caracteristice ale unui jet liber rotund.

gurii de formare; lungimea zonei inițiale, x_0; bătaia **j.**; unghiul de convergență al zonei inițiale, α_0; unghiul de evazare a graniței **j.**, α; debitul în secțiunea inițială, m_0; polul **j.**, b; și raza **j.**, R_j.

Pentru vitezele w_x din diferitele puncte ale secțiunilor transversale prin **j.** se pot stabili, ca urmare a asemănării profilelor de viteză, o relație generală, considerînd variația rapoartelor în funcție de r/x (r fiind coordonata radială, iar x distanța de la ieșirea din ajutaj):

$$\frac{w_x}{w_{xm}} = \exp\left[-k_w\left(\frac{r}{x}\right)^2\right],$$

unde k_w este un coeficient de proporționalitate stabilit experimental ($k_w = 82 \ldots 92$). Relația exprimă o distribuție gaussiană care se poate reprezenta ca în figura J.5.

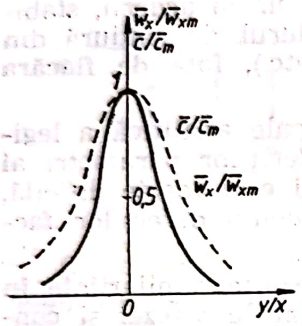


Fig. J.5. Variația vitezei relative w_x/w_{xm} în jet.

Determinarea vitezei axiale a **j.** se poate face și pe baza caracteristicii de turbulență a cărei valoare se stabilește, de asemenea, experimental (Tabelul J.3):

$$\frac{w_x}{w_0} = 0{,}96\,\frac{R_0}{a(x+b)}.$$

Tabelul J.3

Valorile caracteristicii de turbulență

Forma ajutajului sau canalului de formare a jetului	a
Ajutaj convergent rotund	0,0066—0,0076
Secțiune cilindrică (țeavă)	0,08
Difuzor rotund cu unghiul de evazare de 8—10° și cu grilaj de ieșire	0,09
Canal cu secțiune pătrată care are înainte un cot sau o curbă	0,10
Secțiunea de ieșire a difuzorului unui ventilator centrifugal, prevăzut la ieșire cu jaluzele de dirijare a aerului	0,12
Secțiunea de ieșire a unui ventilator axial	0,13
Secțiunea dreptunghiulară cu laturile în raport 1/20, convergent pe una din laturi	0,11
Secțiunea dreptunghiulară cu laturile în raport 1/20, convergent pe ambele laturi	0,10—0,12
Secțiunea dreptunghiulară cu laturile în raport 1/12	0,12
Secțiunea dreptunghiulară cu laturile în raport 1/10 și convergent pe ambele laturi	0,09—0,14
Ajutaj cilindric cu palete directoare înclinate la 45°	0,20—0,25
Ajutaje pătrate cu palete directoare înclinate la 45°	0,25—0,30

Pentru concentrații se poate scrie relația (v. Fig. J.5).

$$\frac{C}{C_m} = \exp\left[-K_c\left(\frac{y}{x}\right)^2\right],$$

unde $K_c = 54 \ldots 57$.

În ceea ce privește unghiul total de deschidere a **j.**, în literatura de specialitate se indică relația $\operatorname{tg}\alpha = 6{,}8a$, unde a reprezintă coeficientul de structură turbulentă al **j.** În condițiile turbulenței libere ($\mathrm{Re} = 20 \cdot 10^3 \ldots 4 \cdot 10^6$), coeficientul de structură al **j.** variază în limitele 0,06 ... ... 0,075. De obicei, $\alpha = 18° \ldots 26°$, putînd atinge valori mai ridicate în condiții speciale de turbulență. Distanța b la polul **j.** se determină din ipoteza divergenței egale a **j.** atît în zona inițială, cît și în cea de bază:

$$b = \frac{0{,}29a}{R_0}.$$

Lungimile zonelor inițiale, de tranziție și de bază, se obțin cu ajutorul relațiilor de calcul pentru w_x/w_0. Pentru zona inițială, unde $w_x = w_0$ rezultă:

$$x_0 = 0{,}96\,\frac{R_0}{a} - b.$$

J. plan izoterm. Prin **j.** plan se înțelege **j.** al cărui orificiu de formare este rectangular (pătrat sau dreptunghiular). S-a constatat experimental că **j.** la care raportul laturilor h_0 și b_0 ale orificiului de formare este $h_0/b_0 < 1/10$, se comportă ca și **j.** rotunde, sînt axial simetrice și respectă aceleași reguli. În cazul cînd $h_0/b_0 > 1/12$, evazarea **j.** are loc numai în direcția laturii celei mai mari, în cealaltă direcție rămînînd constant (Fig. J.6). Legile de variație ale componentelor vitezei w_h și w_b sînt diferite, dar

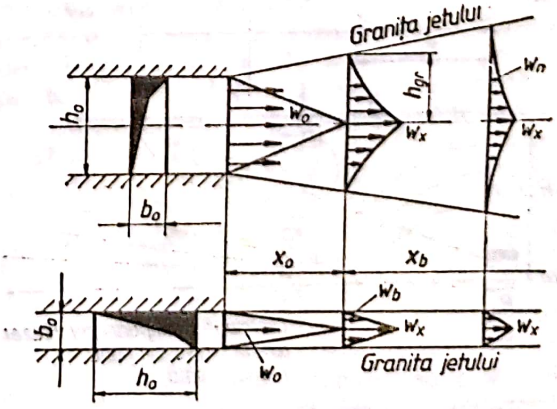


Fig. J.6. Jetul plan izoterm.

w_x are aceeași valoare în ambele proiecții. Relația de calcul a vitezei w_x este:

$$\frac{w_x}{w_0} = \frac{1{,}2}{\frac{ax}{h_0} - 0{,}41},$$

în care coeficientul de turbulență se poate obține tot din tabelul J.3. Relațiile de calcul ale debitului volumetric, ale vitezei w_b și w_h nu pot fi generalizate, ele diferind de la caz la caz.

J. limitat izoterm. Prin **j.** limitat, se înțelege **j.**, ce nu se poate dezvolta liber, fiind împiedicat de unul sau mai mulți pereți. Efectele limitării influențează puternic repartiția vitezei, a aspirației de mediu înconjurător și a direcției axei de simetrie.

În cazul unui **j.** care evoluează într-o incintă limitatoare, pot apărea două situații extreme:

— **j.** este însoțit de o curgere secundară puternică care îl înconjoară și îl antrenează astfel, încît nu mai ajunge să atingă pereții incintei sau curgerea are caracterul unei curgeri potențiale a unui fluid printr-o conductă sau canal (Fig. J.7).

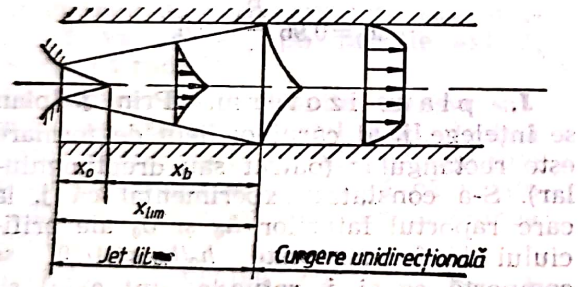


Fig. J.7. Jet limitat spațial.

— curgerea secundară înconjurătoare este slabă, astfel că **j.** atinge pereții incintei.

În acest ultim caz, se instalează o curgere cu recirculație (Fig. J.8). O parte

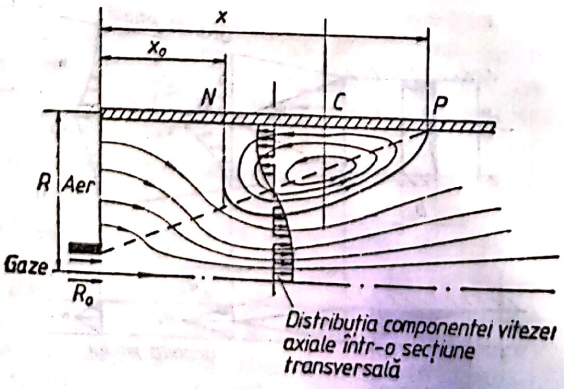


Fig. J.8. Curgere cu recirculație.

din cantitatea de mișcare a **j.** se transformă în energie de presiune, care dă naștere unui gradient de presiune ce provoacă recircularea unei cantități de fluid către baza **j.**

Caracteristicile zonei de recirculare, respectiv debitul de gaze recirculate și lungimea zonei de recirculare a acestora, influențează procesul de amestecare dintre **j.** de fluid și mediul incintei în care acesta evoluează. În cazul flăcărilor difuziv-turbulente, fenomenul de recirculare a gazelor de ardere conduce (pentru aceleași condiții inițiale ale **j.** de gaze combustibile) la o modificare a caracteristicilor flăcării (luminozitate, viteza de degajare de căldură, durata arderii, stabilitatea flăcării, transferul de căldură din interiorul focarului etc.), față de flacăra în **j.** liber de gaz.

Determinarea pe cale analitică a legilor de variație a diferiților parametri ai **j.** mărginite de pereți este foarte dificilă, avînd în vedere influența diverșilor factori care intervin.

J. limitate nu prezintă similaritate în ceea ce privește variațiile vitezei și concentrației ca în cazul **j.** libere și curbele lor de variație pot fi exprimate în funcție de un parametru de circulație (criteriul de recirculare), cu ajutorul căruia sînt anticipate prin calcul atît calitativ, cît și valoric. Drept criterii de recirculare sînt folosite frecvent criteriile Thring-Newby și Craya-Curtet.

În figura J.9 este prezentat un **j.** limitat într-un plan de o suprafață (efectul

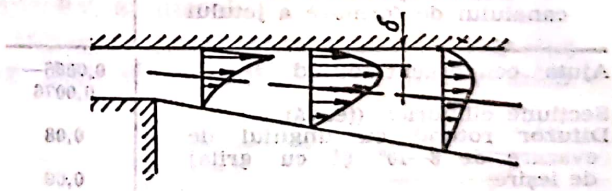


Fig. J.9. Jet limitat de un singur plan.

Coandă). În zona liberă, se formează un **j.** a cărui viteză scade ca urmare a absorbției din mediul ambiant. Lîngă perete se formează un strat limită δ, curgerea rămînînd potențială. Viteza lîngă perete va scădea numai sub influența frecării.

J. concurente izoterme. Prin **j.** concurente izoterme se definesc două **j.** ce se întîlnesc sub un unghi oarecare. Caracteristicile lor pot fi determinate numai pe cale experimentală.

J. deflectat este influențat de **j.** deflectant. Modelul fizic a două **j.** concu-

rente este prezentat în figura J.10. **J.** deflectat, cu un impuls inițial mai mic decît cel deflectant se întîlnește sub unghiul α. Distanța D se numește bătaie axială a **j.** deflectat. Lățimea **j.** deflectat, după ce a căpătat direcția **j.** deflectant, este b.

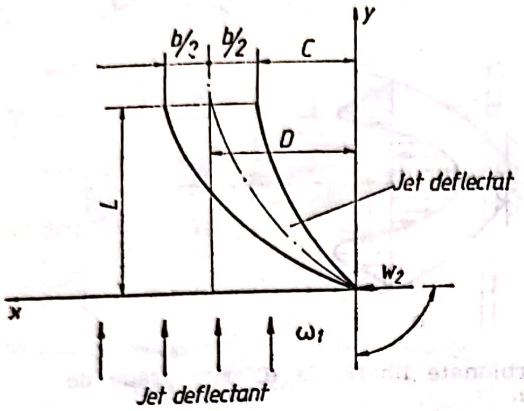


Fig. J.10. Jeturi concurente.

J. neizoterme. Sînt **j.** a căror temperatură inițială T_0 este diferită de cea a mediului ambiant T_{ma}. Din punct de vedere gazodinamic, se deosebesc două tipuri de **j.** neizoterme, și anume: **j.** la care $\Delta T_0 = T_0 - T_{ma} < 100$ K, caracteristice instalațiilor de ventilație, climatizare, dușuri de aer etc.; **j.** la care $\Delta T_0 = T_0 - T_{ma} > 200$ K, denumite **j.** foarte calde, caracteristice **j.** de flacără și gaze calde în focare, cuptoare, camere de ardere etc. Profilul unui **j.** cald este schițat în figura J.10. Axul unui **j.** neizoterm este deviat sub acțiunea forțelor ascensionale, deviația respectivă putînd fi apreciată în funcție de criteriul lui Arhimede: $\mathrm{Ar} = gD_0(T_0 - T_{ma})/T_{ma}w_0^2$.

În general, distribuțiile de viteză și temperatură în **j.** neizoterm se raportează

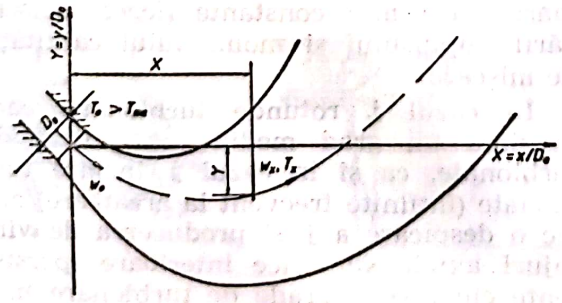


Fig. J.11. Profilul jetului neizoterm cald.

la axe diferite de simetrie (Fig. J.11). Cu o mică eroare se consideră, totuși, acceptabilă suprapunerea între axul de temperatură și cel de viteză.

Temperatura la capul **j.** neizoterm (x_{lim}) se determină cu relația experimentală:

$$T_x = T_{ma} \pm 0{,}254 \frac{\Delta T_0}{w_0^{1{,}25}} \quad [\mathrm{K}],$$

în care semnul + se referă la **j.** cu o temperatură mai mare decît temperatura mediului ambiant.

Bătaia (x_{lim}) la **j.** neizoterme cu direcția inițială verticală este dată de relațiile:

— pentru **j.** rotund:

$$x_{lim} = 1{,}63 D_0 \sqrt{\frac{1}{m\,\mathrm{Ar}}} \quad [\mathrm{m}];$$

— pentru **j.** plan:

$$x_{lim} = 1{,}1 h_0 \sqrt[3]{\frac{1}{m\,\mathrm{Ar}^2}} \quad [\mathrm{m}],$$

în care m este coeficientul de amestec cu mediul exterior, considerat $m=1$, pentru $w_0 > 3$ m/s și $m \cong 0{,}8$ pentru $w_0 < 3$ m/s. Criteriul Ar pentru **j.** plane are, în locul dimensiunii D_0, înălțimea h_0.

Variația temperaturii axiale la **j.** neizoterme cu direcția inițială verticală (**j.** cald) este dată de relațiile:

— pentru **j.** rotund:

$$\frac{\Delta T_x}{\Delta T_0} = 0{,}75 \frac{D_0}{x_m};$$

pentru **j.** plan:

$$\frac{\Delta T_x}{\Delta T_0} = \sqrt{0{,}75 \frac{h_0}{x_m}}.$$

B) J. turbionate. În comparație cu **j.** neturbionate, **j.** turbionate au un unghi de evazare mai mare, cu adîncime de penetrare (bătaie) mai mică și o capacitate de ejecție mărită. De asemenea, presiunea pe toată întinderea **j.** este mai mică decît presiunea mediului înconjurător, iar cantitățile de fluid antrenate în mișcare sînt mai mari, ceea ce permite o amestecare mai bună pe distanțe mai scurte. Mișcarea **j.** turbionat este rezultatul unei combinații complexe a două mișcări: mișcarea de translație de tip **j.** neturbionat și mișcarea de rotație de viteza unghiulară ω. Ca urmare, **j.** turbionat prezintă în plus o componentă tangențială a vitezei față de cele axiale și radiale existente la **j.** neturbionate. Datorită prezenței compo-

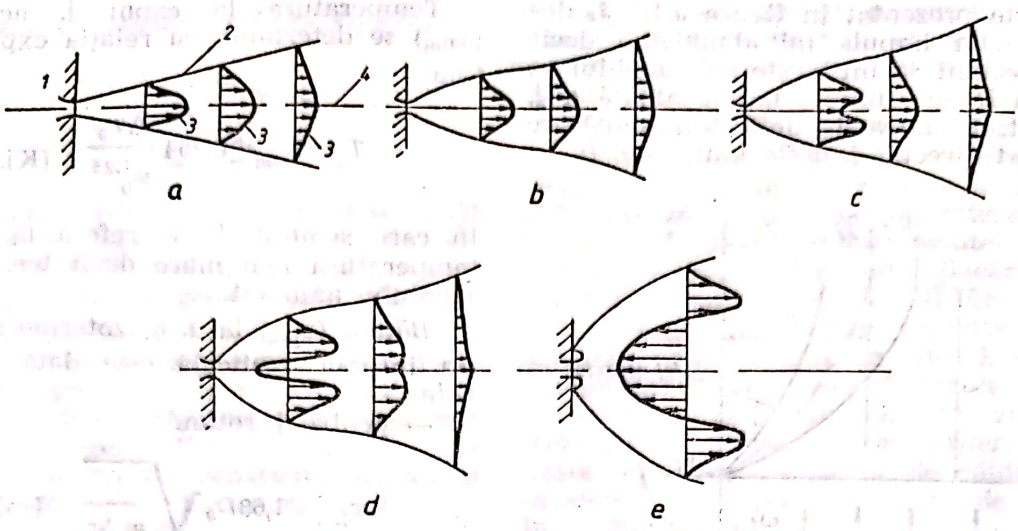


Fig. J.12. Profilul de viteză pentru jeturi turbionate libere, la diferite grade de turbionare.

nentei tangențiale a vitezei (viteză de răsucire, cum este, uneori, denumită în literatură) în **j.** se creează un gradient radial de presiune și, deci, presiunea în **j.** turbionat variază atît transversal, cît și în lungul lui. În funcție de gradul de răsucire al **j.**, curgerea poate căpăta diferite structuri. Astfel, în cazul unui **j.** slab turbionat, ca urmare a prezenței forței centrifuge, se constată o creștere a unghiului de evazare a **j.**, dar maximul componentei axiale a vitezei se găsește tot pe axa **j.**, ca și la **j.** neturbionat (Fig. J.12 *a, b*), iar distribuția în secțiuni transversale are forma unei curbe Gauss normale.

Pe măsura creșterii gradului de turbionare, profilul vitezei axiale capătă o formă asemănătoare literei M (Fig. J.12 *c*). În zona de lîngă secțiunea de ieșire, maximul vitezei este deplasat față de axă, la o distanță mai mare, maximul vitezei axiale revenind la axă. Dacă se mărește și mai mult turbionarea, forțele de presiune depășesc impulsul axial și în apropierea secțiunii ajutajului (în zona de lîngă axă), se formează o curgere inversă. La distanțe mai mari de secțiunea de ieșire a **j.**, zona de curgere inversă dispare (Fig. J.12 *d*).

La valori ridicate ale gradului de turbionare, se constată că zona ocupată de curgerea inversă se dezvoltă într-o astfel de măsură, încît nici la distanțe mari ea nu dispare.

După caracterul distribuției componentei axiale a vitezei, **j.** turbionate se clasifică în următoarele categorii:

— **J.** s l a b t u r b i o n a t e, pentru care componenta axială a vitezei, în orice secțiune transversală prin **j.**, are valoarea maximă pe axă, iar profilul distribuției de viteză este asemănător **j.** drepte;

— **J.** m e d i u t u r b i o n a t e, caracterizate printr-o scădere a valorii componentei axiale a vitezei în apropierea axei **j.**, dar fără apariția zonelor de curgere în sens invers. Profilul distribuției vitezei axiale în secțiunile transversale din apropierea secțiunii de ieșire capătă forma literei „M“ culcată;

— **J.** p u t e r n i c t u r b i o n a t e, caracterizate prin existența unei zone de curgere inversă, închisă sau deschisă.

Comportarea aerodinamică a **j.** turbionat poate fi caracterizată cu ajutorul a două mărimi: cantitatea de mișcare K (sau impulsul axial) și momentul cantității de mișcare M, care în cursul evoluției **j.** se pot considera, cu o bună aproximare, că rămîn constante (legea conservării impulsului și momentului cantității de mișcare).

În cazul **j.** rotunde turbionate, care prezintă un grad mediu sau ridicat de turbionate, ca și în cazul **j.** inelare turbionate (întîlnite frecvent la arzătoare) are loc o despicare a **j.** și producerea de vîrtejuri axiale simetrice interioare (persistente chiar și la grade de turbionare mai reduse ale **j.**).

Particulele fluidului care curge din gura de refulare au tendința de a „zbura“ tangențial, însă sînt reținute de forțele de vîscozitate și supuse unei forțe de presiune radială. Din combinarea acestor

efecte, liniile de curent capătă o formă similară celor din figura J.13.

Curentul turbionat prezintă două zone distincte în care vitezele de rotație variază după legi diferite și anume:

— *zona periferică* a **j.** turbionate (denumită și zonă de vîrtej liber) prezentînd o mișcare potențială $w_t \cdot r = \text{const}$ (sau $w_t \cdot A^n = \text{const}$, unde $0 \leqslant n \leqslant 1$);

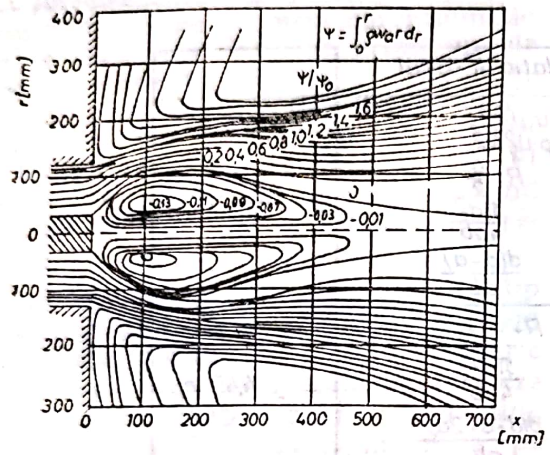


Fig. J.13. Liniile de curent la un jet turbionat cu miez de recirculare.

— *zona nucleului central* (zona de rotație cvasisolidă sau de vîrtej forțat), avînd ca lege de variație a vitezei unghiulare de rotație $w_t r^{-1} = \text{const}$ (sau $w_t r^n = \text{const}$, unde $-1 \leqslant n \leqslant 0$).

Cele două zone sînt despărțite una de alta prin suprafața vitezelor maxime de rotație. De distribuția vitezelor de rotație depinde și repartiția presiunii statice de-a lungul razei jetului (p_{max} la exterior și p_{min} în partea centrală — Fig. J.14, *a*). Viteza axială a curentului în diferite secțiuni transversale (1, 2, 3) variază în funcție de rază ca în figura J.14 *b*. Zona nucleului central este delimitată pe axa **j.** de punctele I și II în care componenta axială a vitezei este egală cu zero (Fig. J.14 *c*).

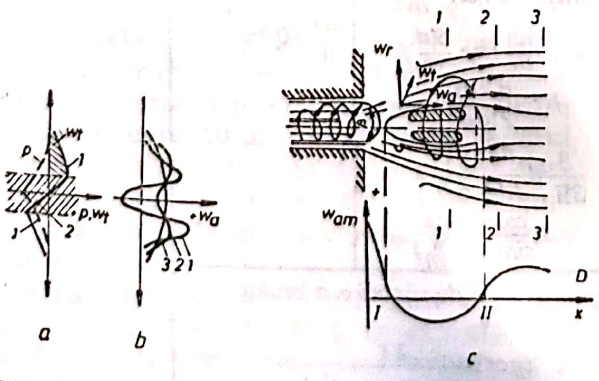


Fig. J.14. Distribuția presiunii statice și vitezei într-un jet turbionat cu miez de recirculare: w — viteza axială; w_t — viteza tangențială; w_r — viteza radială.

În general, componenta radială a vitezei **j.** turbionat este mică în raport cu celelalte două componente (axială și tangențială), putînd fi neglijată. Totuși, în zona situată în apropierea gurii ajutajului, toate componentele vitezei devin comparabile cu valoarea **j.** mediu și puternic turbionate.

Parametrii pentru estimarea turbionării **j.** Intensitatea mișcării de rotație a curenților de fluid, respectiv gradul de turbionare al **j.**, este apreciată cantitativ, cu ajutorul caracteristicilor locale și integrale de turbionare. Drept caracteristică locală a turbionării se consideră de regulă raportul dintre componenta tangențială (w_t) și axială (w_a) ale vitezei:

$$n = \frac{w_t}{w_a},$$

iar drept caracteristică integrală, raportul dintre momentul cantității de mișcare a **j.** M (considerat constant de-a lungul **j.**) și cantitatea de mișcare a jetului K (denumită și impulsul axial al **j.**); pentru ca acest ultim raport să fie adimensional, numitorul se înmulțește cu o dimensiune caracteristică (raza R_0 sau diametrul D_0 al gurii ajutajului):

$$\Omega = \frac{M}{KR}.$$

Valorile mărimilor M și K se determină prin integrare, utilizînd distribuțiile componentei axiale (w_a) și tangențiale (w_t) ale vitezei într-o secțiune oarecare a jetului (mai frecvent în planul gurii ajutajului), cu ajutorul relațiilor:

$$M = 2\pi \int_0^R \rho w_a w_t r^2 dr$$

$$K = 2\pi \int_0^R r(\rho w_a^2 + p) dr,$$

în care s-a notat: p — presiunea statică în punctul în care se măsoară viteza; r — raza curentă și ρ — densitatea fluidului.

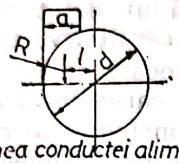
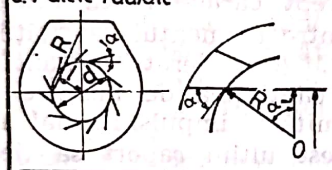
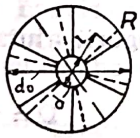
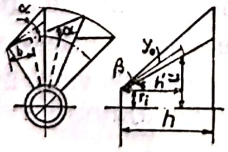
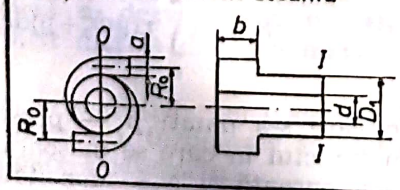
De regulă, se folosește un parametru constructiv de turbionare care ține seamă de distribuția vitezei în secțiunea de ieșire a dispozitivului de turbionare și de particularitățile constructive ale acestuia.

În tabelul J.4 sînt indicate relațiile de calcul ale gradului de turbionare pentru diferite tipuri de dispozitive.

Metode de producere a j. turbionate. Cele mai folosite procedee care permit obținerea **j.** cu grade de turbionare de la slab pînă la puternic pot fi grupate în 5 mari tipuri constructive:

— *turbionare cu cameră cilindrică cu admisie tangențială* simplă sau multiplă (tip T), numărul canalelor cu aducțiune

Tabelul J.4

	Caracteristica	Relația de calcul	
a. Carcasă T  b - lățimea conductei alimentare	G_ϕ G_x $\frac{u_\varphi}{u_x}$ n_p	$\pi u_u R^2 l \rho$ $\pi \rho \cdot u_x^2 R^2$ $R - \frac{a}{2}$ $\frac{\pi d^2}{4ab}$ $\frac{d(d-a)}{ab}$	$\frac{L}{d} = \left(\frac{200}{n_p}\right)^{0,24}$
b. Carcasă tip Y b - lățimea conductei de alimentare	l $\frac{u_\varphi}{u_x}$ n_p	$R + \frac{a}{2} + c$ $\frac{\pi d^2}{4ab}$ $\frac{d(d+a+2a)}{ab}$	$1 \le n \le 3$ $\frac{L}{d} = \frac{4,45 - n_p}{0,57}$
c. Palete radiale 	l $\frac{u_\varphi}{u_x}$	$R \cos\alpha$ $\frac{\pi d^2}{lm\varepsilon 4}$ L - lățimea paletelor m - numărul paletelor ε - cea mai mica distanță dintre palete	$0,69 \le n \le 4,07$ $\frac{L}{d} = \left(\frac{195}{n_p}\right)^{0,26}$
d. Palete axiale tip A 	l $\frac{u_\varphi}{u_x}$ n_p	$\frac{1}{3} \frac{d^3 - d_0^3}{d^2 - d_0^2}$ $tg\alpha \cdot \frac{d^2}{d^2 - d_0^2}$ $\frac{8}{3\pi} d \frac{d^3 - d_0^3}{(d^2 - d_0^2)^2} tg\alpha$	$\frac{L}{d} \approx \left(\frac{11}{n_p}\right)^{0,66}$
e. Palete axiale tip B 	l $\frac{u_\varphi}{u_x}$ n_p	$\left[r_1 + \frac{a+2b}{3(a+b)} h tg\beta\right] \cos\alpha$ $\frac{\pi d^2}{2mh(a+b)\sin(\alpha + \frac{\pi}{m})}$ $a = \frac{\pi d_1}{m}; b = \frac{\pi d}{m};$ $h = \frac{d - d_1}{2 tg\beta}$ $\frac{8}{3\pi} d \frac{d^3 - d_1^3}{(d^2 - d_1^2)} x$ $x \frac{\cos\alpha \sin\beta}{\sin(\alpha + \frac{\pi}{m})}$	$\frac{L}{d} = \left(\frac{13}{n}\right)^{0,5}$ $\frac{d_1}{d} = 0,35$
f. Dispozitiv cu admisie secantă 		$tg\alpha$ - unghiul de răsucire a jetului $tg\alpha = \frac{\Sigma f}{2\pi R_0 R_1 (1 - \frac{d}{D_1})}$ Σf - aria secțiunii de admisie	

variind de la 1 la 4; la creşterea numărului canalelor, se măreşte şi uniformizarea distribuţiei curentului în secţiunea de ieşire a canalului cilindric;

— *turbionatoare cu cameră melcată cu admisie tangenţială* (tip M) care asigură o uniformizare mai bună a curentului în secţiunea de ieşire comparativ cu turbionatorul de tip T;

— *turbionatoare cu palete tangenţiale* (tip TP), la care admisia curentului de fluid se face spre interior printr-un şir de palete înclinate, dispuse pe circumferinţa turbionatorului. Axele longitudinale ale paletelor sînt paralele cu axa canalului cilindric, unghiul de înclinare α al paletelor în raport cu tangenta variind între 30° şi 60°, iar numărul lor $z=12\ldots24$;

— *turbionatoare cu palete axiale* (tip A), la care paletele sînt dispuse înclinat pe un butuc coaxial cu canalul cilindric astfel, încît axa longitudinală să formeze un unghi de înclinare cu axa canalului, iar axa radială să fie perpendiculară pe aceasta;

— *turbionatoare cu palete axial-tangenţiale* (tip AT), care din punct de vedere constructiv ocupă un loc intermediar între turbionatoarele de tip TP şi tip A.

Caracteristicile geometrice ale **j.** turbionate. Caracteristicile gazodinamice ale **j.** turbionat depind de gradul de turbionare, de tipul constructiv al turbionatorului şi de forma secţiunii gurii de ieşire a acestuia, de configuraţia spaţiului în care evoluează **j.**, de regimul de temperatură existent, de vitezele relative ale **j.** în raport cu mediul ambiant etc.

Unghiul de deschidere al **j.** turbionat (unghi de evazare sau de împrăştiere) reprezintă o noţiune convenţională, deoarece limitele **j.** la gura de ieşire nu formează un trunchi de con, ci un hiperboloid de rotaţie. Cu cît diferenţa dintre densitatea curentului turbionat şi mediul înconjurător este mai mare şi cu cît turbionarea este mai puternică, cu atît forma **j.** se deosebeşte mai mult de forma conică.

Partea iniţială a **j.** turbionat este conică, iar unghiul la vîrf reprezintă unghiul de deschidere sau de evacuare al **j.** În **j.** neizoterme turbionate ajunge pînă la circa 100° şi chiar mai mult.

Lungimea **j.** turbionat este mult mai mică în comparaţie cu lungimea **j.** neturbionat şi, de regulă, scade odată cu creşterea gradului de turbionare; se constată că şi la o turbionare slabă lungimea **j.** scade în mod simţitor faţă de **j.** neturbionat, aşa cum se vede în figura J.15.

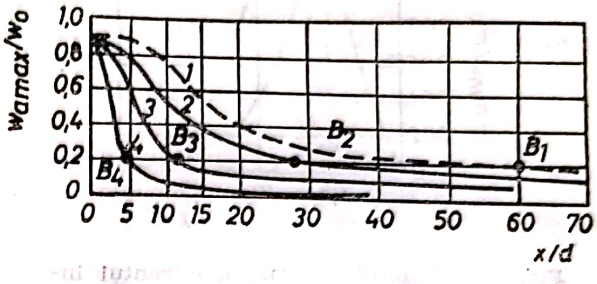


Fig. J.15. Lungimea relativă a jeturilor turbionate:
1 — jet neturbionat; *2* — jet slab turbionat; *3* — jet mediu turbionat; *4* — jet puternic turbionat; *B* — bătaia jetului.

Gradul de neuniformitate a distribuţiei vitezei se exprimă prin raportul dintre diferenţa valorilor scalare ale vectorilor viteză maximă şi minimă pe circumferinţă şi valoarea scalară a vectorului vitezei medii din secţiunea respectivă, dată de relaţia:

$$\varepsilon = \frac{w_{max} - w_{min}}{w_{med}}.$$

Această caracteristică se raportează în general la gura sursei, deoarece în aval de aceasta are loc o tendinţă de uniformizare a **j.** La turbionatoarele de tipul cu palete tangenţiale, gradul de neuniformitate ε scade odată cu micşorarea unghiului α de înclinare a paletelor, iar la cele cu palete axiale scade odată cu creşterea lui α, avînd în general valori cuprinse între 0,03 şi 0,08.

Lungimea şi diametrul zonei curentului invers se exprimă în unităţi relative, de obicei în fracţiuni din diametrul ajutajului. Modelul fizic al formării curenţilor inverşi nu este încă complet clarificat; se consideră, totuşi, ca satisfăcător mecanismul conform căruia curenţii inverşi se formează sub acţiunea gradientului presiunii statice din **j.** Dinamica curentului invers depinde direct de raportul dintre componentele tangenţiale şi axiale ale vitezei, adică de caracteristica locală a turbionării. La **j.** puternic turbionate, debitul curenţilor inverşi este apropiat de zero în orificiul de ieşire, atinge un maxim în zona secţiunilor $x/d=0{,}5$ şi scade din nou la zero în zonele $x/d=$

1...2 (Fig. J.16). Pentru calculul debitului masic al curentului invers printr-o secțiune oarecare se utilizează o relație ce

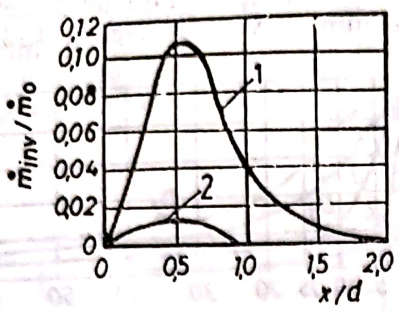


Fig. J.16. Debitul de gaz în curentul invers al jeturilor turbionate:
1 — jet puternic turbionat; *2* — jet mediu turbionat.

folosește cîmpul vitezei axiale în zona de recirculare, de forma:

$$\dot{m}_{inv}=2\pi\rho\int_0^{R_{inv}} w_a r dr,$$

unde: ρ este densitatea; R_{inv} — raza limitei zonei curenților inverși din secțiunea respectivă; r — valoarea curentă a razei j; w_a — viteza axială.

Capacitatea de absorbție, definită ca raportul $\dot{m}/\dot{m}_0$, crește puternic odată cu creșterea gradului de turbionare (Fig. J.17).

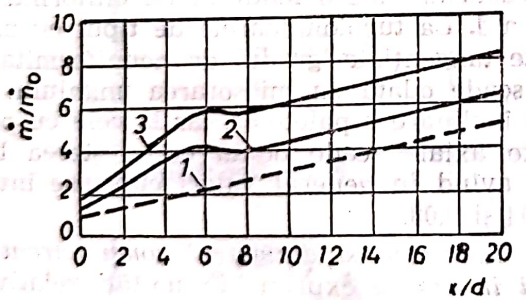


Fig. J.17. Debitul în secțiune într-un jet turbionat:
1 — jet neturbionat; *2* — jet slab turbionat; *3* — jet puternic turbionat.

Diferența cea mai mare în ceea ce privește capacitatea de absorbție între **j.** turbionate și neturbionate apare în apropierea gurii. Pentru intervalul $0\leqslant x/a\leqslant 5$, relația de calcul a capacității de absorbție a debitului **j.** turbionate este:

$$\Delta\dot{m}=0{,}5\,\Omega+0{,}207(1+\Omega)\frac{x}{d},$$

unde Ω este parametrul de turbionare.

Unghiul de ridicare al curentului în spirală. Prin acest unghi (notat de regulă cu β) se înțelege unghiul dintre direcția vectorului viteză într-un punct de pe traiectoria particulelor aflate în curgere turbionară și direcția radială perpendiculară pe axa **j.** El nu este constant în lungul **j.** și, ca urmare, poate reprezenta numai o caracteristică indirectă a turbionării curentului.

Influența formei secțiunii de ieșire a turbionatorului asupra caracteristicii aerodinamice a **j.** Cercetările experimentale efectuate asupra **j.** turbionate produse de diferite generatoare de turbionare au arătat că asupra aerodinamicii **j.** o puternică influență o au forma secțiunii de ieșire și raportul diametrelor țevilor centrale coaxiale.

O influență puternică asupra structurii aerodinamice a **j.** o are îngustarea secțiunii de ieșire a gurii de refulare. Prin îngustare, se mărește bătaia **j.**, se micșorează unghiul de evazare al **j.** și se scurtează în mod simțitor zona curenților liberi. O creștere a unghiului de deschidere a gurii de refulare duce la mărirea zonei curenților inverși și a unghiului de deschidere a **j.** turbionat. În anumite condiții, **j.** se poate evaza într-o astfel de măsură, încît să se disperseze în toate direcțiile în planuri radiale.

C) J. în cîmpuri turbionare. Reprezintă **j.** ce evoluează în medii care au o mișcare de rotație. Spre deosebire de **j.** care evoluează în medii aflate în stare de repaus sau în stare de mișcare liniară, la **j.** care evoluează în medii cu mișcare de rotație se constată o tendință de împiedicare a dezvoltării **j.** în direcție radială și o reducere a debitului de fluid antrenat de **j.** Acest fenomen duce la creșterea considerabilă a lungimii (bătăii) **j.** De asemenea, datorită caracterului de vîrtej al mișcării mediului în apropierea axului mișcării, se reduc foarte mult pulsațiile vitezei, temperaturii și concentrației și, deci, se reduce schimbul de căldură și de masă. Ca urmare, în lungul stratului limită al **j.** ce evoluează într-un mediu cu mișcare de rotație are loc o amortizare rapidă a turbulenței. În zona inițială, schimbul de căldură și de masă este, însă, mai intens în comparație cu **j.** liber.

JICLOR. Element propriu carburatoarelor pentru motoare cu aprindere prin scînteie, avînd rolul de a doza combustibilul sau amestecul aer-combustibil, care trece din carburator în sistemul de admisie al motorului. **J.** are forma unui dop

Scanned with OKEN Scanner

filetat la exterior, avînd în interior un orificiu central calibrat (Fig. J.18).

După tipul dispozitivului din carburator pe care îl echipează și al fluidului vehiculat, se deosebesc: **j.** de combustibil și **j.** de aer.

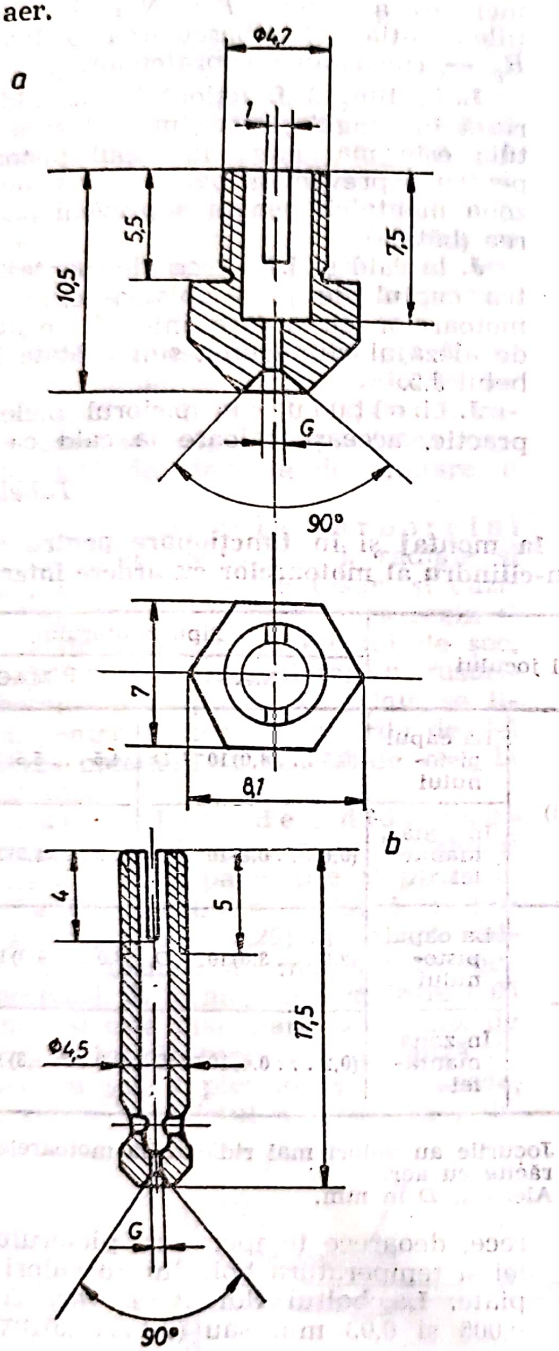


Fig. J.18. Jiclor: *a* — principal (ex. pentru carburator); orificiul *G* calibrat la toleranța ±0,003 mm; *b* — jiclor de mers în gol (ralenti).

În funcție de circuitul de benzină pe care îl controlează, **j. de combustibil** sînt de următoarele tipuri:

— **j.** principal, plasat în camera de nivel constant a carburatorului, pe circuitul de sarcini parțiale;

— **j.** de putere, plasat pe circuitul de sarcini mari al carburatorului; cînd este montat în serie cu **j.** principal; **j.** de putere poartă denumirea de „economizor";

— **j.** de combustibil pentru mersul în gol (**j.** de ralenti), plasat pe circuitul de mers în gol al carburatorului;

— **j.** de combustibil pentru accelerare;

— **j.** de combustibil tip starter.

J. de aer au rolul de a controla trecerea unei cantități determinate de amestec aer-combustibil. Se deosebesc următoarele tipuri de **j.** de aer:

— **j.** principal de aer, montat la capătul tubului emulsor al carburatorului;

— **j.** de aer pentru dispozitivul de mers în gol;

— **j.** de aer tip starter pentru dispozitivul de pornire.

În funcție de tip și construcție, carburatorul conține toate sau numai o parte din tipurile de **j.** menționate.

JOC. Deplasare relativă maximă pe care o pot avea două corpuri solide între pozițiile lor de contact, pe o direcție dată, în cele două sensuri ale acestei direcții. Se deosebesc: **j.** de ajustaj, **j.** de uzură și **j.** funcționale.

J. de ajustaj reprezintă **j.** a două piese ajustate pentru a fi asamblate nerigid, în una dintre direcțiile în care asamblarea trebuie să împiedice deplasarea lor una față de cealaltă. De exemplu, la piesele la care asamblarea se face prin suprafețe cilindrice, **j.** de ajustaj este diferența dintre diametrul efectiv al alezajului și diametrul efectiv al arborelui, dacă acesta este mai mic decît primul (Fig. J.19). Dacă, înainte de asamblare, diametrul arborelui este mai mare decît cel al alezajului, **j.** este negativ și se numește strîngere.

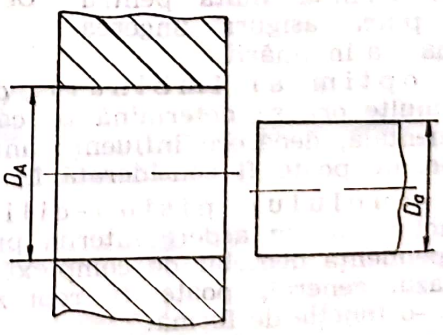


Fig. J.19. Jocul de ajustaj cînd: $D_A > D_a$ $J = D_A - D_a$; $J_{max} = D_{A_{max}} - D_{A_{min}}$; $J_{min} = D_{A_{min}} - D_{A_{max}}$ (D_A — diametrul alezajului; D_a — diametrul arborelui); cînd $D_A < D_a$, $D_a - D_A = S$ (strîngere).

J. de uzură reprezintă valoarea cu care se mărește, prin uzură, **j.** de ajustaj sau cel funcțional.

J. funcțional este **j.** pe care trebuie să-l aibă o piesă, în raport cu sistemul tehnic în care este asamblată, pentru a funcționa în bune condiții (ex.: **j.** dintre piston și cilindru, **j.** din lagărele arborelui cotit, **j.** supapelor de distribuție etc.).

J. funcțional inițial, pentru o îmbinare de piese care formează un cuplu în frecare, influențează direct asupra fiabilității și durabilității cuplului respectiv. În cazul general, durata de funcționare a pieselor se poate exprima prin relația:

$$t=t_1+t_2,$$

în care t_1 reprezintă durata rodării pieselor, iar t_2 — durata funcționării normale a cuplului de piese pînă în momentul în care uzura depășește limitele admisibile.

Dacă în timpul rodării uzura ajustajului se exprimă prin stratul de metal îndepărtat m_1 [mm] și prin viteza de uzare q [mm/h], atunci $t_1=m_1/q_1$. În mod analog, $t_2=m_2/q_2$, deci:

$$t=m_1/q_1+m_2/q_2.$$

Dacă se are în vedere că $m_2=J_{max}-J-m_1$, rezultă:

$$t=m_1/q_1+(J_{max}-J-m_1)/q_2,$$

unde prin J s-a notat **j.** stabilit la asamblarea pieselor. Cu cît valoarea **j.** inițial este mai mare, cu atît fiabilitatea îmbinării va fi mai mică. Valoarea **j.** nu trebuie redusă sub o anumită limită pentru a se putea asigura ungerea normală a îmbinării.

J. optim al îmbinării, de cele mai multe ori, se determină pe cale experimentală, deoarece influența anumitor factori nu poate fi considerată în calcul.

J. cuplului piston-cilindru al motoarelor cu ardere internă prezintă o dependență deosebit de complexă, care, în cazul general, poate fi reprezentată printr-o funcție de forma:

$$J=f(D, L_p, l, F, N, Q, \eta, v, v', \alpha, \beta, \varepsilon R_a),$$

unde: D este alezajul cilindrului; L_p — lungimea pistonului, $l=L_p-H_c$ (H_c — înălțimea de comprimare); F și N — forțele care acționează pe direcția axei cilindrului și perpendicular pe acesta; Q — forța de frecare; η — vîscozitatea cinematică a uleiului, v — viteza relativă de deplasare; v' — viteza de alunecare a pistonului pe cilindru; α și β — unghiurile de înclinare a forțelor F și N față de direcțiile inițiale (la bascularea pistonului); R_a — rugozitatea suprafețelor.

J. în timpul funcționării (la cald) variază în lungul pistonului; valoarea acestuia este mai mare la capul pistonului, pentru a preveni griparea și mai mică în zona mantalei, pentru a preveni bascularea (bătaia).

J. la cald și **j.** la rece (de montaj) pentru cuplul de piese piston—cilindru al motoarelor cu ardere internă, în funcție de alezajul cilindrului, sînt arătate în tabelul J.5.

J. bolțului în piciorul bielei are, practic, aceeași valoare la cald ca și la rece, deoarece temperatura piciorului bielei și temperatura bolțului au valori apropiate. La bolțul flotant, **j.** variază între 0,005 și 0,03 mm sau $(0,4\ldots1,5)10^{-3}\ d_{e_b}$ d_{e_b} fiind diametrul exterior al bolțului [mm].

În locașurile bolțului din piston dilatările sînt diferite, mai ales cînd pistonul este confecționat din aliaje de aluminiu, cu coeficient de dilatare mare în raport cu coeficientul de dilatare al bolțului. Întrucît și temperaturile de regim sînt ridicate, **j.** la cald cresc inadmisibil. Din acest motiv **j.** la rece are valori mici

Tabelul J.5

Jocurile la montaj și în funcționare pentru cuplul piston-cilindru al motoarelor cu ardere internă

Felul jocului		Tipul motorului	
		MAS	MAC
Joc la rece (de montaj) [mm]	La capul pistonului	$(3,5\ldots4,0)10^{-3}\ D$	$(4,5\ldots5,5)10^{-3}\ D$
	În zona mantalei	$(0,6\ldots0,8)10^{-3}\ D$	$(1,3\ldots1,5)10^{-3}\ D$
Joc la cald (în funcționare) [mm]	La capul pistonului	$(2,0\ldots3,0)10^{-3}\ D$	$(3,0\ldots4,0)10^{-3}\ D$
	În zona mantalei	$(0,2\ldots0,4)10^{-3}\ D$	$(0,9\ldots1,3)10^{-3}\ D$

Observații: Jocurile au valori mai ridicate la motoarele diesel răcite cu aer.
Alezajul D în mm.

Scanned with OKEN Scanner

7—9 μm pentru pistoanele din fontă; pentru pistoanele din aliaje ușoare valoarea j. la rece este mai mică și, deseori, chiar negativă (strîngere).

J. segmenților în canalele din piston sînt j. axiale și radiale. J. axiale trebuie să fie cît mai mici pentru a reduce scăpările de gaze, dar nu pot fi micșorate sub o anumită limită, deoarece apare pericolul de gripare. J. axiale la MAS variază între 0,02 și 0,05 mm (valori mai mari la primul segment). La MAC, j. axiale sînt mai mari 0,03—0,13 mm: valori mai mari la segmentul de foc (0,1 mm), valori mai mici la segmentul de ungere (0,03 mm). La motorul MAC răcit cu aer, j. se mărește cu 0,02—0,03 mm la primul segment.

J. radiale, de asemenea, nu pot fi reduse sub o anumită limită; valorile lor sînt mai mari decît ale j. axiale. J. radiale trebuie să asigure securitatea segmentului față de tendința de dilatare a pistonului.

J. din lagărele arborelui cotit, sînt, de asemenea, j. radiale și j. axiale. J. radiale dintre fusuri și cuzineți se limitează pentru a asigura regimul hidrodinamic și a atenua efectul de șoc, la $(0{,}3—3)10^{-3} \cdot d$, d fiind diametrul fusurilor arborelui cotit [mm]. J. axiale se limitează, pentru a atenua scăpările de ulei și scăderea presiunii în stratul de ulei, la 0,05—1,0 mm.

J. supapelor de distribuție preia dilatările care apar în timpul funcționării între supape, tije și pîrghiile sistemului de distribuție. Acest j. se numește j. termic (Fig. J.20) și se determină de către uzinele de motoare termice prin încercări. J. termic variază între 0,05 și 0,5 mm și este mai mare la supapa de evacuare. J. termic reprezintă o cauză de solicitare cu șoc a pieselor și, de aceea, trebuie redus la strictul necesar. În plus,

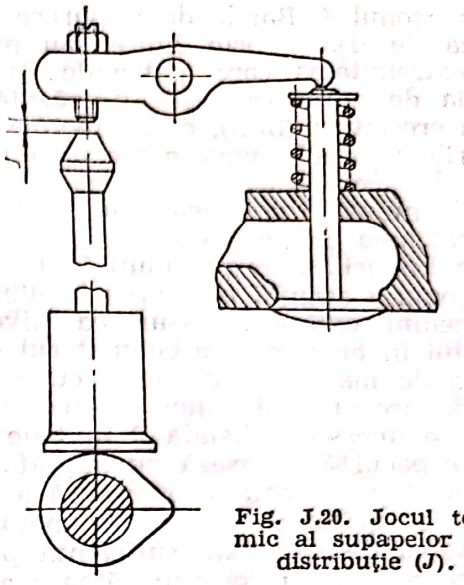


Fig. J.20. Jocul termic al supapelor de distribuție (*J*).

un j. termic sporit reduce performanța de silențiozitate a motorului. J. stabilit inițial de uzina constructoare (j. optim) se mărește în timpul exploatării din cauza uzării pieselor. De aceea, j. termic se reface periodic. Cînd cama atacă direct supapa, j. termic se reglează cu ajutorul unor discuri așezate între camă și coada supapei. Dacă prin reglare s-a stabilit un j. mai mic decît cel recomandat în timpul funcționării, supapa nu se mai așază pe sediu, ceea ce compromite nu numai etanșarea, ci și siguranța în funcționare, talerul supapei și scaunul fiind arse de gazele fierbinți care scapă prin interstiții; dacă j. termic este prea mare, se intensifică uzarea prin șoc, se modifică fazele de distribuție și se amplifică zgomotul.

JOJA (Sin.: **Tijă de nivel**). Dispozitiv pentru măsurarea nivelului uleiului în baia de ulei a motoarelor termice.

Este format (Fig. J.21) din tija *1*, banda de măsurare *2*, apărătoarea de praf *3*

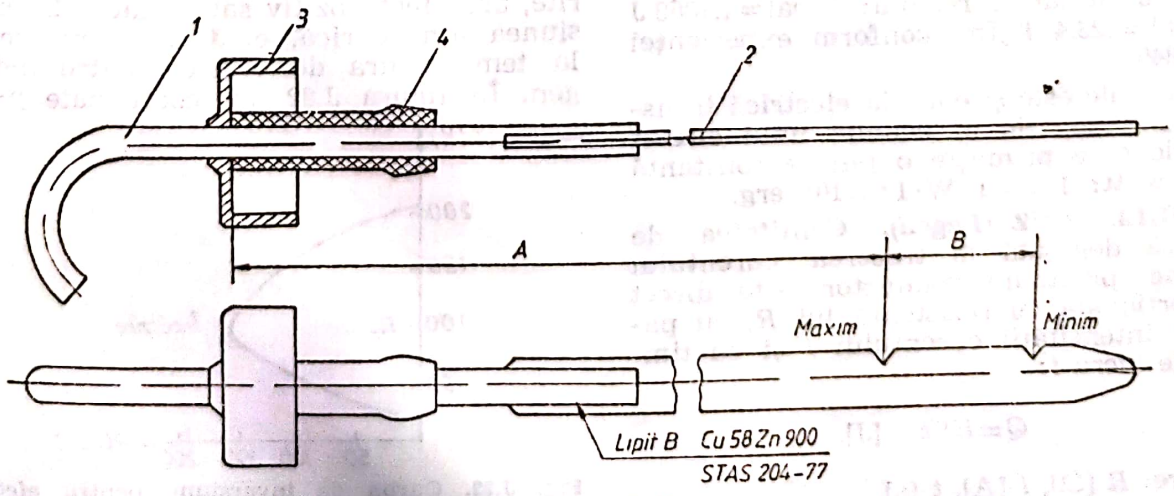


Fig. J.21. Joja.

și manșonul *4*. Banda de măsurare se fixează de tija *1* prin lipire sau nituire. La extremitatea care pătrunde în ulei, banda de măsurare este prevăzută cu două crestături (linii), care precizează nivelurile minim și maxim ale uleiului din baie. În acest sens, cotele *B* și *A* se vor stabili numai după execuția motorului. Apărătoarea de praf *3* împiedică pătrunderea impurităților (prafului) în baie, iar manșonul *4* asigură etanșarea la ulei față de mediul exterior. Măsurarea nivelului uleiului în baie se face cu motorul oprit; banda de măsurare se șterge cu o cîrpă curată care nu lasă scame. În aceste condiții, se imersează banda *2* în baie pînă cînd capacul *3* se așază cu suprafața sa interioară pe suprafața exterioară a bosajului de sprijin din carterul motorului. Cantitatea de ulei este suficientă pentru asigurarea ungerii corespunzătoare a motorului, dacă, după imersare, urma de ulei se situează pe banda de măsurare între crestăturile de nivel minim și maxim.

JOULE, James Prescott. Fizician englez. (1818—1889). În anul 1841, a stabilit efectul termic al curentului electric la trecerea sa printr-o rezistență (legea lui Joule). În 1843, a oferit posibilitatea definirii precise a echivalentului mecanic al căldurii. În 1845, a formulat legea pentru echivalența dintre căldură și lucru mecanic. În 1852, s-a demonstrat „efectul Joule-Thomson" pentru scăderea temperaturii.

JOULE. Unitate de măsură pentru lucru mecanic în sistemul internațional de unități de măsură și reprezintă lucrul mecanic efectuat de o forță de 1 newton, al cărei punct de aplicație se deplasează în sensul și pe direcția forței cu 1 metru: 1 J=1 N·1 m.

J. este o unitate de măsură și pentru căldură și energie în SI. În baza legii lui Joule privind echivalența dintre căldură și lucru mecanic, rezultă: 1 cal=4,1868 J (1 kcal=423,4 kgfm, conform experienței din 1845).

Un joule este și energia electrică transmisă în timp de o secundă unui circuit electric care primește o putere constantă de 1 watt: 1 J=1 W·1 s=10^7 erg.

JOULE-LENZ (Legea). Cantitatea de căldură degajată la trecerea curentului electric printr-un conductor este direct proporțională cu rezistența lui *R*, cu pătratul intensității curentului *I* și cu timpul de lucru *t*:

$$Q=RI^2t \quad [J],$$

în care: *R* [Ω], *I* [A], *t* [s].

La curentul alternativ se consideră intensitatea efectivă a sa I_{ef} și

$$Q=RI_{ef}^2\ t \quad [J].$$

Acest efect este util în tehnică, cum ar fi la: cuptoarele de încălzire electrice, instalațiile de încălzire electrice, instalațiile de sudură electrice etc. Dar este și un fenomen dăunător, deoarece la transmiterea la distanță a energiei electrice se produc pierderi prin efect electrocaloric în conductori.

JOULE-THOMSON (Efect). Reprezintă variația temperaturii gazelor reale în timpul procesului de laminare adiabatică. Analitic, se exprimă în două moduri:

— *efectul diferențial* Joule-Thomson:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_h=\frac{1}{c_p}\left[T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p-v\right]$$

în care: $(\partial T/\partial p)_h$ reprezintă variația temperaturii cu presiunea în procesul de laminare (h=const); T — temperatura; c_p — căldura specifică la presiune constantă; v — volumul specific; $(\partial v/\partial T)_p$ — variația volumului specific cu temperatura la p=const;

— *efectul integral* Joule-Thomson:

$$(\Delta T)_h=(T_2-T_1)_h=\int_{p_2}^{p_1}\frac{1}{c_p}\left[T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p-v\right]dp\ ,$$

care arată variația finită a temperaturii gazului real în procesul de laminare.

E. J-T poate fi pozitiv, cînd se produce răcirea gazului și negativ, la încălzirea gazului. Efectul este nul în cazul gazelor perfecte. Pentru o anumită presiune, fiecare gaz are o temperatură la care **e. J-T** se anulează. La presiuni mari, acest efect provoacă creșterea temperaturii, iar la presiuni mici, scăderea temperaturii. Același gaz, la presiuni și temperaturi diferite, are efect pozitiv sau negativ. La presiunea atmosferică, **e. J-T.** se inversează la temperatura de —80°C pentru hidrogen. În figura J.22 în coordonate p—T,

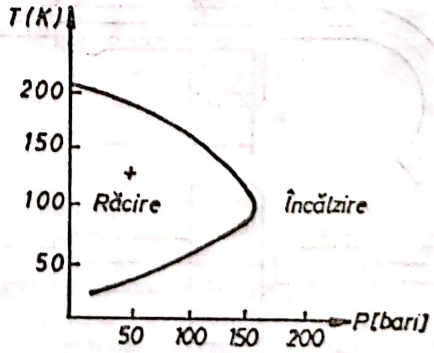


Fig. J.22. Curba de inversiune pentru efectul Joule-Thomson.

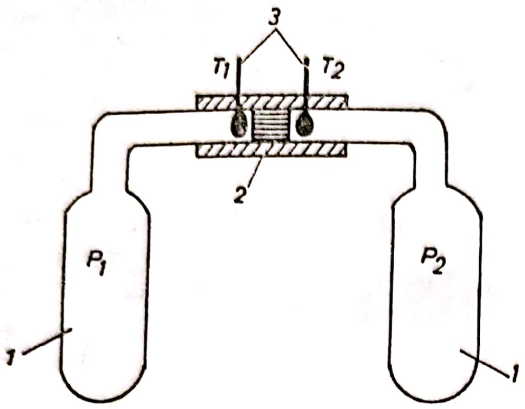


Fig. J.23. Instalație experimentală pentru demonstrarea efectului Joule-Thomson:
1 — recipiente pentru gaze; *2* — dop poros; *3* — termometre.

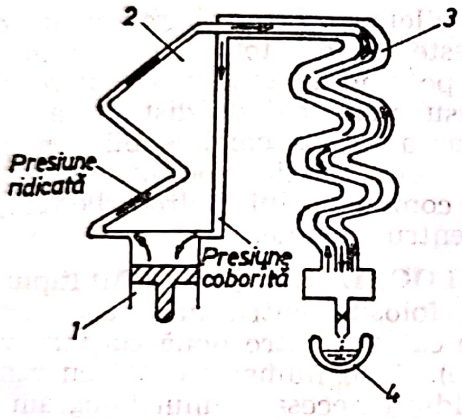


Fig. J.24. Schema de principiu a mașinii Linde:
1 — compresor; *2* — răcitor; *3* — schimbător de căldură; *4* — vas Dewar.

curba de inversie a hidrogenului separă zona în care efectul este pozitiv de cea în care efectul este negativ. **E. J-T.** se poate pune în evidență cu o instalație ca cea din figura J.23. Un gaz aflat la presiunea p_1 în vasul *1* trece prin dopul poros *2* în vasul unde $p_2 < p_1$. Conducta de legătură dintre vase este prevăzută cu o izolație termică, iar lîngă dop, de o parte și de alta, se află termometrele T_1 și T_2. Se constată că la trecerea gazului prin dop, temperatura scade, excepînd hidrogenul la care temperatura crește.

Pentru lichefierea gazelor, **e. J-T.** se folosește la mașina Linde (Fig. J.24). Aici,

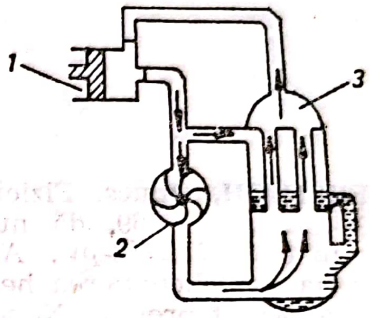


Fig. J.25. Schema de principiu a instalației de lichefiere cu turbodetentor Kapița:
1 — compresor; *2* — turbodetentor; *3* — condensator.

gazul, care s-a răcit prin destindere, este comprimat de compresorul *1* pînă la temperatura de lichefiere, iar lichidul obținut se colectează în vase Dewar. Acest efect se poate utiliza pentru lichefiere și în instalația cu turbodetentor Kapița (Fig. J.25). Gazul se răcește aici suplimentar și datorită transmiterii unei părți din energia sa cinetică paletelor turbodetentorului. Gazul răcit intră în condensator, unde va răci gazul care nu a lucrat în detentor. În această instalație, datorită vitezei mari de răcire, productivitatea este ridicată.

Scanned with OKEN Scanner

K

KAMERLINGH, Onnes. Fizician olandez (1853—1926). În 1869, dă numele de *entalpie* funcției $H=U+pV$. A efectuat pentru prima oară lichefierea heliului. În anul 1913, a primit premiul Nobel pentru fizică.

KELVIN, Thomson William. Fizician englez (1824—1907).

Pe baza lucrărilor lui Carnot, Joule și Clausius, a formulat expresii proprii pentru ambele principii ale termodinamicii. A introdus noțiunea de *temperatură absolută*. Este autorul unor cercetări asupra energiei solare, electricității și magnetismului.

KEROSEN. Fracțiune obținută prin distilarea primară a țițeiului, cunoscută și sub numele de **petrol lampant.** Se distilează între 175 și 325°C și conține hidrocarburi parafinice și naftenice cu 10—16 atomi de carbon. Este un lichid uleios, galben deschis sau incolor, cu miros caracteristic, cu densitatea de ~0,8 g/cm^3, insolubil în apă și solubil în alte fracțiuni ale țițeiului. Se utilizează drept combustibil pentru încălzit, gătit și iluminat, pentru unele motoare cu combustie internă, ca degresant, pentru combaterea buruienilor și ca bază pentru unele insecticide. Dacă se utilizează drept carburant pentru motoare cu ardere internă, conținutul de hidrocarburi aromatice trebuie să fie cît mai mare. Ca petrol lampant trebuie să aibă un conținut mare de hidrocarburi parafinice (deoarece cele aromatice și naftenele ard cu fum), vîscozitatea să nu fie mai mare de 2 centipoise (pentru a putea alimenta fitilul), iar componentele volatile să fie în cantitate redusă. Pentru a evita poluarea atmosferei conținutul de sulf trebuie să fie scăzut; punctul de inflamabilitate trebuie să fie de minimum 35°C (pentru a reduce posibilitatea de explozie).

În zilele noastre, **K.** reprezintă cu puțin peste 4% din totalul produselor petroliere, pe cînd în secolul trecut reprezenta produsul principal de distilare a țițeiului. Utilizarea drept combustibil pentru motoarele cu reacție continuă să crească, fiind combustibilul hidrocarbonat principal pentru rachete.

KILOCALORIE [kcal]. Multiplu al caloriei, folosit pentru măsurarea schimbului de căldură între două corpuri (v. Calorie). Este numeric egală cu cantitatea de căldură necesară unui kilogram de apă pură pentru a-și modifica temperatura cu 1°C (se mai numește și *calorie mare*). În funcție de nivelul de temperatură la care se consideră intervalul de temperatură, se notează:

— $kcal_{15}$ pentru intervalul de temperaturi 14,5°C—15,5°C, **k.** la 15°C;

— $kcal_{20}$ pentru intervalul de temperaturi 19,5°C—20,5°C, **k.** la 20°C;

Pe plan internațional s-a adoptat **k. internațională** ($kcal_{IT}$) a cărei valoare este 1/860 kWh.

În prezent, în locul **k.** se utilizează pentru căldură unitățile de măsură din sistemul SI (kJ; kWh; ...).

Relații de echivalență cu alte unități de măsură sînt următoarele:

$$1\ kcal_{IT}=1{,}00031\ kcal_{15}=1{,}0013\ kcal_{20}=$$
$$=4{,}1868\ kJ=1{,}163\ Wh=$$
$$=1/860\ kWh=$$
$$=4{,}1868\cdot10^{10}\ erg=$$
$$=426{,}935\ kgf\cdot m=$$
$$=1{,}58124\cdot10^{-3}\ CPh=$$
$$=2{,}614\cdot10^{22}\ eV=$$
$$=3{,}96832\ Btu=$$
$$=1{,}00031\cdot10^{-3}\ th=$$
$$=99{,}3543\ ft\ pdl=3088{,}03\ ft\ lbf.$$

Scanned with OKEN Scanner

KILOGRAM [kg]. Unitate de măsură egală cu masa „kilogramului internațional" de platin-iridiu (10%), adoptat în 1889 la Conferința Generală de Măsuri și Greutăți și care se găsește depozitat la Sèvres (Franța).

K. este o unitate de măsură fundamentală în sistemul internațional de unități de măsură (SI).

Relațiile de echivalență cu unități de masă din diferite sisteme de unități sînt următoarele:

1 kg = 10^3 g = 10^{-3} t = 2,20462 lb (pound) = $1{,}01972 \cdot 10^{-1}$ hyl = $6{,}85218 \cdot 10^{-2}$ slug = $15{,}4324 \cdot 10^3$ gr (grain) = $5{,}64383 \cdot 10^2$ dr (drain) = 35,2740 oz (ounce) = $19{,}6841 \cdot 10^{-3}$ cwt (hundredweight) = $9{,}84207 \cdot 10^{-4}$ Uk ton (unitate de măsură engleză) = $1{,}10231 \cdot 10^{-3}$ US shton (unitate de măsură americană).

KILOGRAM FORȚĂ [kgf]. Unitate de măsură fundamentală în sistemul tehnic de unități de măsură MKfS, utilizată pentru exprimarea valorilor forțelor. Ea este egală cu forța exercitată asupra unui corp cu masa de un kilogram pentru a-l deplasa cu o accelerație egală cu accelerația gravitațională (g = 9,80665 m/s²).

Relațiile de echivalență cu unitățile de măsură a forțelor din alte sisteme de unități sînt următoarele:

1 kgf = 9,80665 N = $9{,}80665 \cdot 10^5$ dyn = $9{,}80665 \cdot 10^{-3}$ sn (sthene) = 10^3 p (pound) = 70,9316 pdl (pondal) = 2,20462 lbf (pound-force) = $9{,}84207 \cdot 10^{-4}$ UK tonf.

KILOGRAM FORȚĂ-METRU [kgf·m]. Unitate de măsură derivată a sistemului tehnic de unități MKfS, utilizată pentru energie. Este numeric egală cu lucrul mecanic efectuat pentru deplasarea unui corp cu masa de un kilogram pe distanța de 1 m sub acțiunea unei forțe de 1 kgf. Se mai notează și kgm. În raport cu alte unități de măsură a energiei se găsește în următoarele relații de echivalență:

1 kgf·m = 9,80665 J = $9{,}80665 \cdot 10^7$ erg = $2{,}724069 \cdot 10^{-3}$ Wh = 2,34228 cal = $6{,}122 \cdot 10^{19}$ eV = 232,715 ft pld (foot pondal) = 7,23301 ft lbf (foot pound force) = $3{,}65304 \cdot 10^{-6}$ hpf (horsepower hour) = $9{,}29487 \cdot 10^{-3}$ Btu (British thermal unit) = $2{,}343 \cdot 10^{-6}$ th (thermie).

KILOGRAM FORȚĂ-METRU PE SECUNDĂ [kgf·m/s] sau [kgm/s]. Unitate de măsură derivată a sistemului tehnic de unități MKfS, utilizată pentru exprimarea puterilor în sistemele mecanice. Reprezintă puterea dezvoltată de un sistem ce efectuează un lucru mecanic de 1 kgf·m în timp de o secundă. Relațiile de echivalență cu alte unități de măsură pentru putere sînt:

1 kgf·m/s = 9,80665 W = $9{,}80665 \cdot 10^7$ erg/s = $1{,}3333 \cdot 10^{-2}$ CP = 2,34228 cal/s = 8,43220 kcal/h = 33,4617 Btu/h = 10^{-1} prony = 10^{-2} poncelet = 232,715 ft pdl/s (foot poundal pe secundă) = 433,98 ft lbf (foot pound force pe minut).

KILOMOL. v. Mol

KILOWAT [kW]. Multiplu al wattului, folosit pentru măsurarea puterii. Este numeric egal cu valoarea puterii dezvoltate de o energie de 1 kJ în timp de o secundă. Relațiile de echivalență cu alte unități de măsură a puterilor sînt:

1 kW = 10^3 W = 10^{10} erg/s = $1{,}01972 \cdot 10^2$ kgf·m/s = 1,35962 CP = $2{,}38846 \cdot 10^2$ cal/s = 859,845 kcal/h = 10,1972 prony = 1,01972 poncelet = $3{,}41214 \cdot 10^3$ Btu/h = $2{,}37304 \cdot 10^4$ ft pdl/s = $4{,}42537 \cdot 10^4$ ft lbf/min.

KILOWATTORĂ [kWh]. Multiplu al wattorei, folosit pentru măsurarea energiei. Reprezintă energia necesară dezvoltării unei puteri de un kilowatt în timp de o oră. Relațiile de echivalență cu alte unități de măsură a energiilor sînt următoarele:

1 kWh = 10^3 Wh = 3 600 kJ = $3\,600 \cdot 10^{10}$ erg = $3{,}67098 \cdot 10^5$ kgf·m = 859,845 kcal = $2{,}247 \cdot 10^{25}$ eV = 3 412,14 Btu =

Scanned with OKEN Scanner

$=8{,}60112 \cdot 10^{-1}$ th=
$=1{,}359621$ CPh=
$=8{,}54293 \cdot 10^{7}$ ft pdl=
$=2{,}65522 \cdot 10^{6}$ ft lbf.

KNOCKMETRU. Aparat indicator al apariției fenomenului de detonație la un motor CFR (măsurare a intensității detonației) [v. CFR (Motor); Detonație]. **K.** este constituit fie dintr-un termoelement cu miliampermetru, fie dintr-un voltametru (ori din ambele aparate).

Pentru varianta cu termocuplu și miliampermetru, detonația se determină prin indicațiile miliampermetrului conectat la termocuplu. In circuitul de transmitere a semnalului (a detonației) este montată o rezistență electrică (Fig. K.1) care, fiind în legătură cu termocuplul, face posibilă măsurarea indirectă a intensității efective a curentului discontinuu din acest al doilea circuit. Intensitatea efectivă, măsurată, este proporțională cu detonația produsă de aparatul CFR și transmisă printr-o membrană la o tijă ce închide temporar circuitul rezistenței electrice.

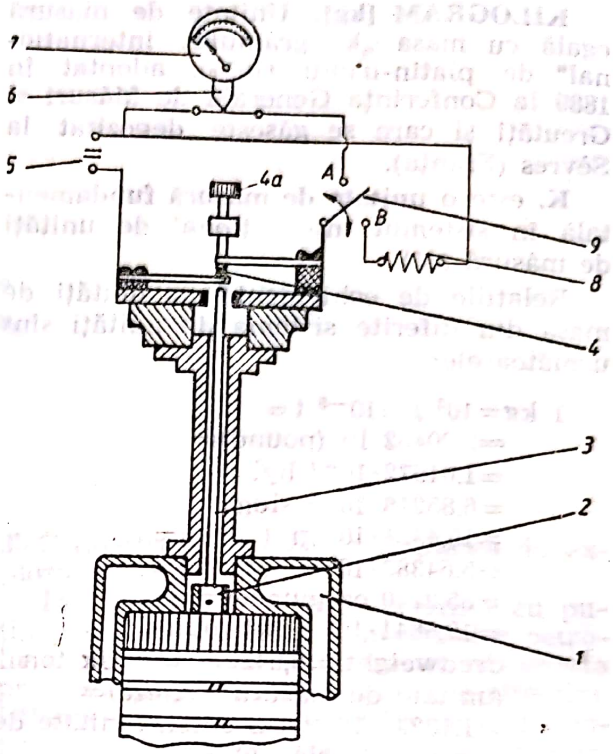


Fig. K.1. Schema unui knockmetru:
1 — cilindrul motorului; *2* — membrană; *3* — tijă mobilă; *4* — contact electric; *4a* — șurub de reglaj; *5* — sursă de curent continuu; *6* — termoelement; *7* — miliampermetru; *8* — rezistență electrică; *9* — comutator.

Scanned with OKEN Scanner

L

LABIRINT. Organ de etanșare pentru gaze și lichide, fără frecare mecanică între piese. **L.** se compune din mai multe inele, fixate pe arborele rotitor și altele fixe, apropiate de cele ale arborelui, dar fără să-l atingă, distanțate între ele prin camere circulare goale și adesea prevăzute și cu scurgeri pentru ulei. **L.** are ca scop etanșarea pentru gaze sau împiedicarea scurgerilor de ulei sau alte lichide pe lîngă arbori.

LAC DE RĂCIRE. v. v. Instalație de răcire.

LAGĂR (de alunecare). Piesă de sprijin pentru arbori sau axe, avînd mișcări de rotație, de translație sau de pivotare.

Criteriile generale de clasificare a **l.**, din punct de vedere al condițiilor de funcționare, al construcției și al soluțiilor de ungere, sînt date în tabelul L.1. În raport cu mărimea vitezei relative dintre arbore și **l.** și a nivelurilor de solicitare mecanică și termică, pentru construcția **l.** se utilizează diferite *materiale antifricțiune.* Clasificarea materialelor

Tabelul L.1

Criterii generale de clasificare a lagărelor

Condiții de funcționare	Natura forței care acționează asupra lagărului	Forțe constante (direcție, sens și mărime)		
		Forțe variabile	Direcție, sens sau direcție și sens	
			Mărime	Variație periodică
				șocuri
	Mărimea vitezei periferice a fusului	Viteze mici (0,1—0,5 m/s)		
		Viteze medii (0,5—6 m/s)		
		Viteze mari (6—50 m/s)		
		Viteze foarte mari (>50 m/s)		
Construcție	Numărul pieselor componente	O singură piesă (bucșe)		
		Două piese (cuzineți)		
		Mai multe piese (segmenți)		
	Numărul straturilor componente	Bucșe masive din material antifricțiune		
		Cuzineți bimetalici		
		Cuzineți trimetalici		
	Natura jocului fus—lagăr	Joc fix		
		Joc reglabil	Semicuzineți cu șuruburi sau plăcuțe de reglaj	
			Cuzineți din segmenți, cu pene și șuruburi de reglaj	
Modul de ungere	Ungere cu ulei	cu presiune normală		
		cu suprapresiune		
		în circuit (deschis sau închis)		
	Ungere cu unsoare consistentă			
	Ungere cu apă			
	Ungere cu aer			
	Fără ungere			

Tabelul L.2

Clasificarea materialelor pentru lagăre

Materiale metalice	Aliaje feroase (fontă, oțel)
	Aliaje neferoase (Sn, Pb, Al, Zn, Cd, Ag)
	Metale pure (Al — sub formă de bucșe sau Al, In, Pb — sub formă de depuneri în straturi subțiri pe cuzineți)
	Materiale sinterizate (pulberi de Fe. Cu. Pb)
Materiale nemetalice	Materiale pe bază de rășini sintetice, rășini fenolice, poliamidice (nailon, capron), politetrafluoretilenă)
	Materiale pe bază de carbon (grafit)
	Materiale speciale (cauciuc, sticlă, lemn)
Materiale combinate	Metale+rășini sintetice
	Metale sinterizate+grafit
	Rășini sintetice+sticlă
	Rășini sintetice+grafit
	Rășini sintetice+lemn

pentru **l.** este dată în tabelul L.2. Din punct de vedere constructiv, **l.** se asamblează în agregatul respectiv (Fig. L.1), ori poate face corp comun cu batiul mașinii (Fig. L.2) sau cu alte piese fixe sau mobile, de exemplu **l.** de bielă și palier ale motoarelor cu ardere internă (Fig. L.3).

Pentru unele mașini termice se utilizează **l.** care trebuie să îndeplinească condiții specifice, respectiv construcția lor să prezinte elemente specifice. **L.** arborilor turbinelor cu abur tre-

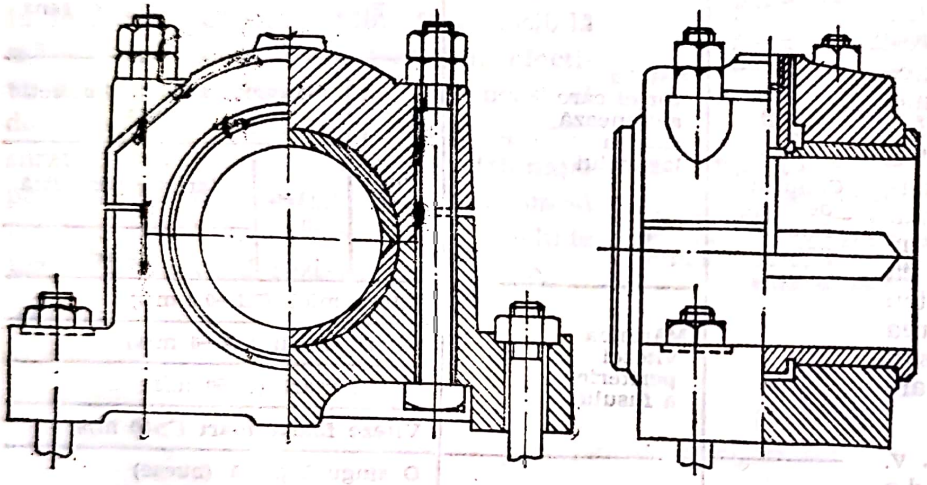


Fig. L.1. Lagăr uzual pentru arbori cu turații medii și sarcini mari.

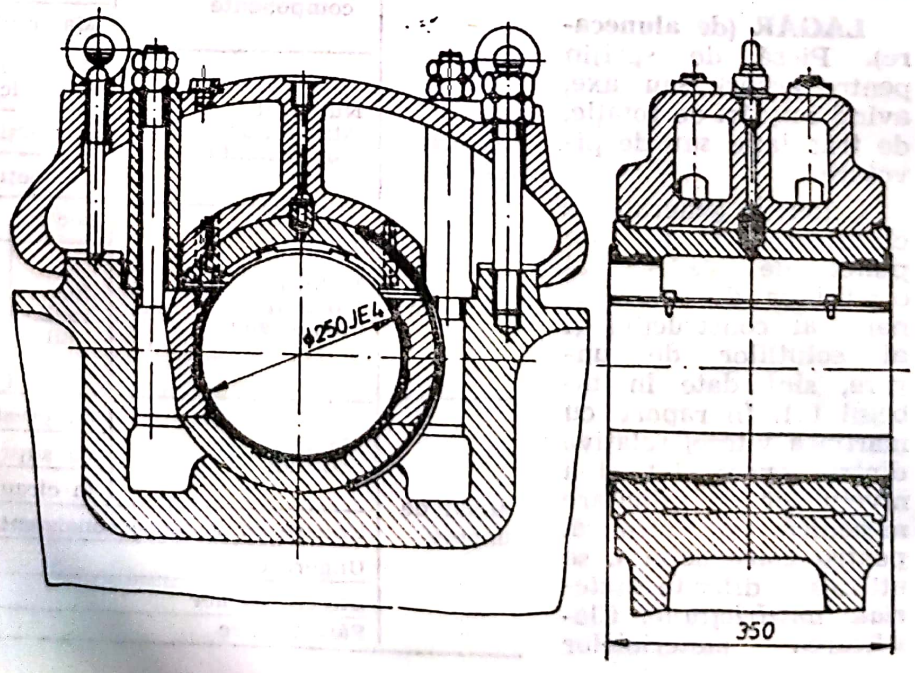


Fig. L.2. Lagăr al cărui corp este solidar cu batiul mașinii.

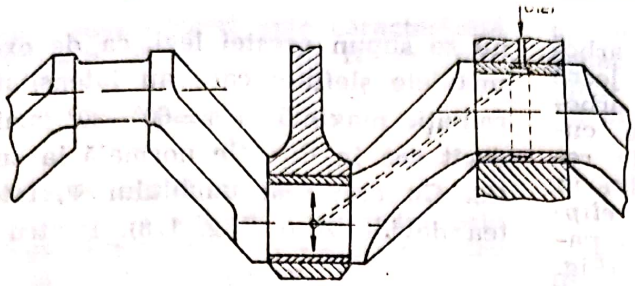


Fig. L.3. Lagăre de bielă și palier pentru arbori cotiți de motor sau compresor.

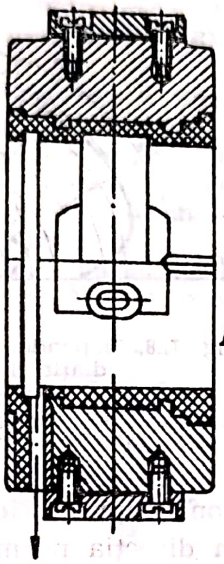
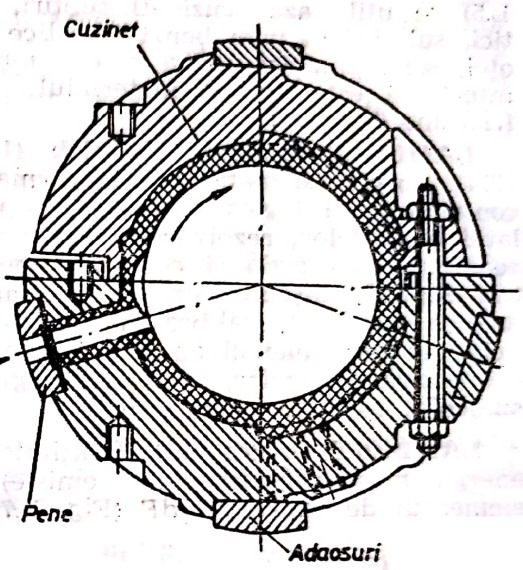


Fig. L.4. Lagăr pentru arborele unei turbine cu abur.



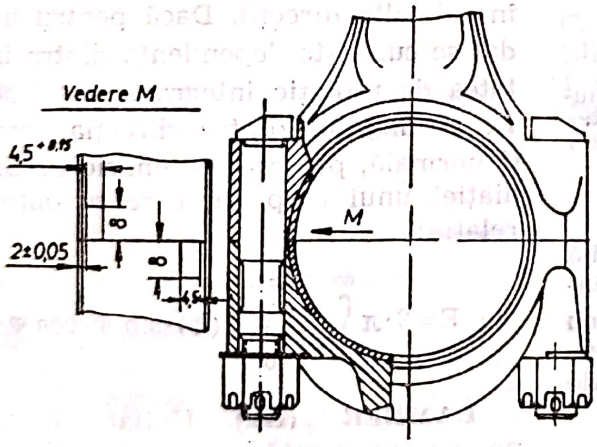


Fig. L.5. Lagăr de bielă pentru un motor de autovehicul.

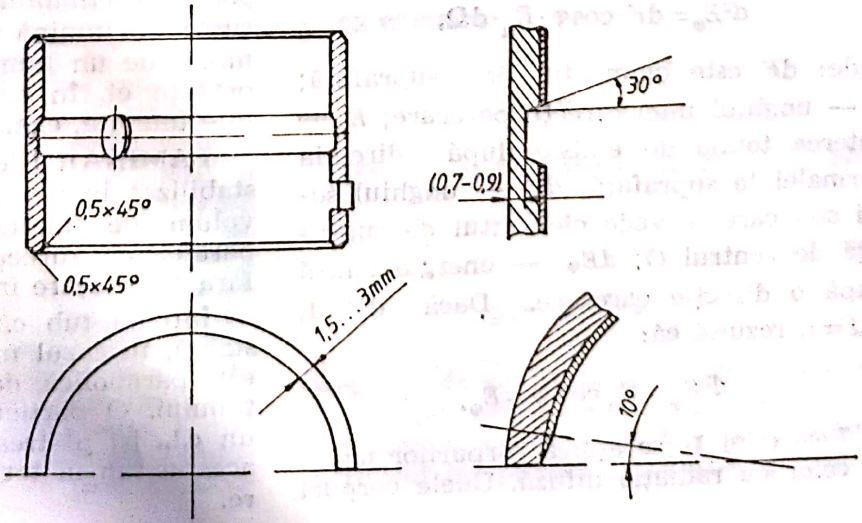


Fig. L.6. Cuzinet cu pereți subțiri pentru lagăre de bielă și palier de motor de autovehicul.

buie să permită reglarea poziției arborelui și să asigure stabilitatea jocului în lagăr. Reglarea poziției arborelui se realizează prin rezemarea cuzinetului pe pene cu adaosuri de reglaj (Fig. L.4), iar stabilitatea jocului în l. se obține prin utilizarea *cuzineților eliptici*. Pentru construcția l. de bielă și palier ale motoarelor de autovehicule (Fig. L.5) se utilizează cuzineți subțiri, elastici, sub forma unei benzi metalice din oțel, semicilindrică, pe a cărei suprafață interioară este aplicat materialul antifricțiune (Fig. L.6).

LAMBERT, Johann Heinrich (1728—1777). Fizician și matematician german cu contribuții la: logica matematică, postulatul paralelelor; rezolvarea construcțiilor geometrice cu rigla și compasul, geometria eliptică, mișcarea proprie a Soarelui, analiza spectrală, calibrarea coloanei de lichid la termometrul cu lichid, dilatarea cantitativă a gazelor, enunțarea legii cosinusului, radiația termică etc.

LAMBERT (Legea lui). Cantitatea de energie radiată (puterea de emisie) de elementul de suprafață dF (Fig. L.7), pe

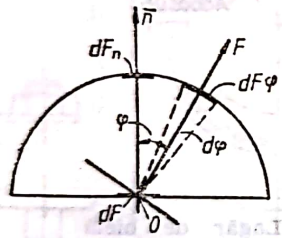


Fig. L.7. Legea cosinusului a lui Lambert.

direcție normală lui, este proporțională cu puterea de emisie în direcția normalei $\vec{n}$ la elementul de suprafață dF, cu unghiul solid sub care se vede din centrul O și cu cosinusul unghiului făcut de raza vectoare $\vec{r}$ și normala $\vec{n}''$:

$$d^2E_\varphi = dF \cdot \cos\varphi \cdot E_n \cdot d\Omega,$$

unde: dF este elementul de suprafață; φ — unghiul unei direcții oarecare; E_n — puterea totală de emisie după direcția normalei la suprafață; $d\Omega$ — unghiul solid sub care se vede elementul de suprafață de centrul O; dE_φ — energia emisă după o direcție oarecare. Dacă $dF=1$, $d\Omega=1$, rezultă că:

$$d^2E_\varphi = E_n \cos\varphi = E_\varphi.$$

Legea lui L. se aplică corpurilor negre și celor cu radiație difuză. Unele corpuri nu se supun acestei legi, ca de exemplu metalele șlefuite care au intensitatea de radiație maximă la $\varphi=60°—80°$ (mai mare decît cea în direcție normală la suprafață). Cu creșterea unghiului φ, intensitatea devine zero (Fig. L.8). Pentru corin-

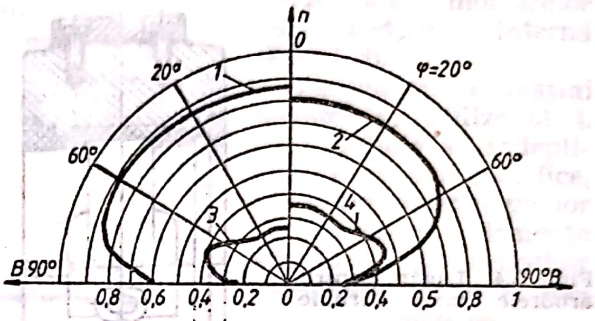


Fig. L.8. Dependența intensității relative de radiație de direcția radiației:
1 — bronz cu aluminiu; *2* — bismut; *3* — corindon; *4* — cupru oxidat; φ — unghiul dintre normala la suprafața și direcția radiației.

don, cupru oxidat, intensitatea radiației în direcția normală este mai mare decît în celelalte direcții. Dacă pentru un corp dat se cunoaște dependența dintre intensitatea de radiație integrală sau spectrală $I\lambda$ și unghiul dintre direcția respectivă și normală, puterea de emisie proprie radiației unui corp oarecare se obține din relația:

$$E = 2\cdot\pi \int_0^\infty d\lambda \int_0^{\pi/2} F\lambda(\varphi)\cdot\sin\varphi\cdot\cos\varphi\cdot d\varphi.$$

LAMBERT (La.). Unitate de măsură pentru *luminanță*, egală cu radiația unei surse de lumină care emite un flux luminos de un lumen pentru 1 cm^2 din suprafața ei. În sistemul CGS, este o unitate tolerată, egală cu $1/\pi$ stilbi.

LAMINAR (Curent). Regim de curgere stabilizat în cazul în care, elementele de volum ale fluidului se mișcă regulat și paralel cu direcția generală a mișcării, fără amestecare între ele.

Într-un tub circular, de secțiune constantă, în cazul unui **c.l.**, creșterea vitezei este parabolică, de la perete spre centrul tubului. O particulă solidă, antrenată de un **c.l.**, își păstrează distanța față de axa acestui tub în tot timpul curgerii laminare.

Scanned with OKEN Scanner

Natura unei curgeri este caracterizată prin valoarea numărului lui Reynolds:

$$Re = \frac{wd}{\nu},$$

unde: w este viteza de curgere a fluidului [m/s]; d — diametrul conductei prin care curge fluidul [m]; ν — viscozitatea cinematică a fluidului [m²/s].

C.l. pentru conducte circulare este caracterizat de valori ale numărului Reynolds mai mici de 2 300.

LAMINARE. Proces de trecere a unui fluid printr-un orificiu cu secțiune redusă, însoțită de cădere de presiune. Un astfel de proces se întîlnește la curgerea fluidelor prin conducte, în locurile unde secțiunea se micșorează brusc (ex.: la trecerea fluidului prin supape, diafragme etc.). În figura L.9 este reprezentat pro-

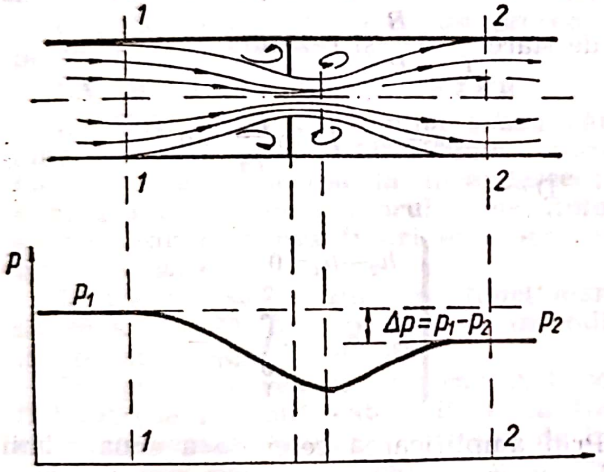


Fig. L.9. Procesul de laminare.

cesul de **l.** a unui fluid care curge printr-o strangulare într-o conductă. La trecerea prin strangulare, liniile de curent se apropie și viteza de curgere se mărește; creșterea energiei cinetice se face pe seama energiei potențiale a fluidului, astfel încît presiunea statică în dreptul orificiului este mult mai mică decît presiunea înainte de aceasta, p_1. Datorită frecării dintre straturile de fluid, amplificată de creșterea vitezei de curgere, o parte din energia cinetică se transformă (prin intermediul lucrului mecanic) în căldură. După strangulare (în secțiunea 2), viteza de curgere scade și presiunea fluidului crește, dar din cauza pierderii de energie cinetică (egală cu lucrul mecanic de frecare), valoarea presiunii p_2 este mai redusă decît cea a presiunii inițiale p_1. Așa cum arată experiența, **l.** este însoțită de o reducere a presiunii fluidului ($p_2 < p_1$). Considerînd că prin conducta din figura L.9 curge 1 kg/s de fluid, ecuația primului principiu al termodinamicii scrisă între secțiunile 1 și 2, are forma:

$$h_2 - h_1 + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) = q_{12} - l_{12}.$$

Între secțiunile 1 și 2, agentul termic nu efectuează lucru mecanic ($l_{12}=0$). Datorită timpului redus de curgere prin conductă, se neglijează schimbul de căldură cu exteriorul, astfel încît curgerea se consideră adiabatică ($q_{12}=0$). De asemenea, se neglijează variația energiei potențiale a fluidului ($g \cdot \Delta z = 0$). Pentru viteze de curgere sub 40 m/s, energia cinetică este neglijată în raport cu entalpia fluidului $\frac{w_2^2}{2} \approx \frac{w_1^2}{2}$ și, deci, ecuația primului principiu devine:

$$h_1 = h_2;\ dh = 0;\ h = \text{constant}.$$

L. este, deci, un proces izentalp cu scădere de presiune. Ecuația conservării energiei înlocuind entalpia cu $h = u + pv$, devine:

$$u_1 + p_1 v_1 = u_2 + p_2 v_2.$$

Considerînd curgerea adiabatică și variațiile de energie cinetică între secțiunile 1 și 2, energia internă a fluidului crește datorită căldurii rezultate din frecarea vîscoasă:

$$u_2 = u_1 + q_{fr} = u_1 + l_{fr}.$$

Frecarea vîscoasă între starturile de fluid este proporțională cu pătratul vitezei de curgere (cu energia cinetică a fluidului):

$$l_{fr} = \xi \frac{w_2^2}{2}$$

și ca urmare:

$$u_2 = u_1 + \xi \frac{w_2^2}{2};$$

Din ecuația conservării energiei, pentru $v = \frac{1}{\rho}$ se obține:

$$p_1 - p_2 = \xi \cdot \rho \frac{w^2}{2};$$

Deci, pierderea de presiune provocată de **l.** este proporțională cu energia cinetică a fluidului, coeficientul ξ fiind numit *coeficient de pierdere locală de presiune.*

Pentru diafragme montate pe conducte de secțiune constantă se recomandă pentru calculul coeficientului de pierdere locală ξ formula:

$$\xi=\left[1+\frac{0{,}707}{\sqrt{1-\left(\frac{S_0}{S}\right)}}\right]^2\left(\frac{S}{S_0}-1\right)^2,$$

S_0 fiind secțiunea de curgere prin diafragmă, iar S — secțiunea conductei.

Pentru vane de înaltă presiune cu racorduri conice, în poziție complet deschisă se recomandă formula:

$$\xi=\frac{1{,}07}{m^2}-\frac{2}{m}+0{,}985,$$

în care: $m=\left(\frac{d'}{d}\right)^2$; d— diametrul interior al conductei; d' — diametrul interior al secțiunii îngustate a vanei.

În tabelul L.3, sînt prezentate, în funcție de diametrul nominal, valorile coeficienților de pierderi ξ pentru diferite tipuri de ventile și clapete.

Tabelul L.3

Coeficientul de pierderi ξ pentru ventile și clapete complet deschise

Diametrul nominal [mm]	25	32	40	50	65	80	100	125	150	175-200
Robinet de trecere — cu trecere liberă	1,7	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6
— normal	4,0	4,2	4,4	4,5	4,7	4,8	4,8	4,5	4,1	3,6
Ventil de colț	2,8	3,0	3,3	3,5	3,7	3,9	3,8	3,3	2,7	2,0
Ventil de reținere — cu trecere liberă (special)	2,5	2,4	2,3	2,0	2,0	2,0	1,6	1,6	2,0	2,5
— normal	4,5	4,8	5,3	6,0	6,6	7,4	7,6	7,2	6,0	4,5
Clapetă de reținere	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8

Diametrul nominal	50	65	80	100	125	150	200	300	400	500
Ventil Koswa	2,7	2,6	2,6	2,5	2,5	2,4	2,4	2,3	2,2	2,1
Ventil Rhei	2,9	2,9	2,8	2,7	2,3	2,0	1,4	1,0	0,8	0,7

Datorită căldurii produsă prin frecare, în procesul de laminare apare o variație de entropie:

$$ds=\frac{\delta q_{fr}}{T}.$$

Schimbul de căldură δq_{fr} este echivalent cu lucrul mecanic elementar consumat pentru învingerea frecărilor $\delta q_{fr}=\delta l_{fr}=-vdp$.

Înlocuind, se obține variația entropiei în procesul de laminare

$$ds=-\frac{v}{T}dp;\ s_2-s_1=-\int_1^2\frac{vdp}{f}>0,$$

deoarece presiunea scade de la p_1 la p_2 ($dp<0$). Pentru gazul perfect din ecuația de stare $\frac{v}{T}=\frac{R}{P}$ și rezultă:

$$s_2-s_1=R\ln\frac{p_1}{p_2}>0.$$

Deci:

$$\begin{cases} h_2-h_1=0 \\ s_2-s_1=-\int_1^2\frac{vdp}{T} \end{cases}$$

Prin amplificarea celei de a doua relații cu T_0 (temperatura mediului ambiant) și scăderea ei din prima:

$$(h_2-h_1)-T_0(s_2-s_1)=T_0\int_1^2\frac{vdp}{T}<0.$$

Termenul din stînga are semnificația variației *exergiei fluidului:*

$$(h_2-h_1)-T_0(s_2-s_1)=e_2-e_1$$

și se constată că **l.** introduce o pierdere de exergie

$$T_{Le}=-T_0\int_1^2\frac{vdp}{T};\quad T_{Le}=T_0R\ln\frac{p_1}{p_2};$$

În cazul gazului perfect:

$$e_2=e_1-T_{Le},$$

ceea ce pune în evidență caracterul ireversibil al acestui proces.

În cazul gazelor, l. conduce și la modificarea temperaturii gazului, efect ce poartă numele de *efect Joule-Thompson* [v. Joule-Thompson (Efect)] Dacă temperatura gazului crește, efectul Joule-Thompson este numit „negativ", iar dacă temperatura gazului scade, efectul Joule-Thompson este numit „pozitiv".

Efectul Joule-Thompson diferențial se exprimă:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_h = \frac{1}{c_p}\left[T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p - v\right],$$

iar efectul Joule-Thompson integral:

$$(\Delta T)_h = (T_2 - T_1)_h = \int_{p_1}^{p_2} \frac{1}{c_p}\left[T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p - v\right] dp.$$

L. poate fi folosită și ca un procedeu pentru răcirea gazelor.

LA MONT (Cazan). v. Cazan

LAMPĂ. Sursă de lumină și/sau căldură, obținută prin arderea unui combustibil, prin aducerea la incandescență a unui filament cu ajutorul curentului electric, sau prin descărcări electrice în tuburi cu gaze.

L. trebuie să prezinte o funcționare sigură și stabilă, fără pericol de incendii și emanații de gaze nocive.

Din punct de vedere constructiv, **l.** pot fi împărțite în două categorii: **l. cu flacără luminoasă,** rezultat al emisiei de lumină a particulelor de carbon incandescent și **l. cu corp incandescent,** de obicei, o sită adusă la incandescență cu ajutorul unei flăcări neluminoase.

Din punctul de vedere al combustibilului, **l.** funcționează cu combustibil lichid sau gazos.

L. cu combustibil lichid.

L. cu petrol este alcătuită dintr-un rezervor de petrol lampant, un arzător plasat într-un corp de sticlă și un coș (canal) de evacuare a gazelor de ardere. Pentru creșterea eficienței luminoase, **l.** poate fi echipată și cu un dispozitiv optic. Arzătorul poate fi realizat în mai multe variante: cu fitil plat sau circular; cu fitil și sită incandescentă; cu bec Bunsen sau cu sită incandescentă. Ultimul tip atinge o eficiență luminoasă relativ mare, suprapresiunea necesară alimentării arzătorului fiind asigurată prin pomparea aerului din rezervorul cu petrol, iar prinderea, prin intermediul unui vaporizator încălzit de la o sursă externă.

L. cu benzină este similară constructiv cu ultimul dintre tipurile de **l.** cu petrol, deși, datorită volatilității mai mari a benzinei vaporizatorul poate să lipsească.

L. cu alcool funcționează pe același principiu ca **l.** cu benzină, avînd în plus avantajul unei mai mari simplități constructive și al unui preț de cost mai redus.

L. cu ulei vegetal (în special de rapiță) face parte din categoria **l.** cu flacără luminoasă; pentru a asigura ridicarea uleiului în fitil, rezervorul este menținut sub presiune cu ajutorul unei pompe de aer.

L. cu combustibil gazos.

L. cu gaz de iluminat este prevăzută cu un arzător cu corp incandescent, încălzit de o flacără neluminoasă care se formează la ieșirea amestecului aer-combustibil dintr-un ajutaj.

L. *de joasă presiune* (30—120 mm H_2O) pot dispune de 3—15 asemenea becuri, însă **l.** *înaltă presiune* (1 000—2 000 mm H_2O), datorită eficienței luminoase mai înalte, au, în general, numai unul pînă la trei.

L. cu propan are o construcție asemănătoare celei precedente, dar arzătorul este dimensionat astfel, încît să asigure debitul de aer necesar arderii propanului (de cca cinci ori mai mare decît cel pentru gaz de iluminat).

L. cu acetilenă se prezintă atît în varianta cu flacără luminoasă, cît și în cea cu corp incandescent. Se folosește, printre altele, la iluminarea balizelor (geamandurilor) pe timpul nopții, datorită atît siguranței ei în funcționare, cît și posibilității de a-i comanda aprinderea de la distanță.

L. cu gaze de gazeificare a uleiurilor (la aproximativ 800°C), uneori cu adaos de acetilenă, se construiește atît în varianta cu flacără luminoasă, cît și în cea cu corp incandescent.

LAPLACE (Ecuația lui). Ecuație cu derivate parțiale de ordinul doi, liniară și omogenă, cu coeficienți constanți, de forma:

$$\Delta f = \sum_{k=1}^{n} \frac{\partial^2 f}{\partial x_k^2} = 0,$$

în care f este o funcție de variabilele $x_1, x_2, \ldots, x_k, \ldots, x_n$. Soluțiile acestei ecuații se numesc *funcții armonice.* Orice soluție a acestei ecuații, care admite derivate parțiale pînă la ordinul doi in-

Scanned with OKEN Scanner

clusiv, continue într-un domeniu cu conexiune simplă în care funcția este uniformă, este partea reală a unei *funcții olomorfe* de variabilă complexă $x+iy$, definită pînă la o constantă arbitrară.

În cazul $n=2$, **e. lui L.** se scrie:

$$\Delta f=\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}=0$$

— În cazul $n=3$, **e. lui L.** devine:

$$\Delta f=\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 f}{\partial z^2}=0$$

Într-un sistem de coordonate curbilinii ortogonale, pentru care forma pătratică fundamentală este:

$$ds^2=g_1\,du_1^2+g_2\,du_2^2+g_3\,du_3^2,$$

e. lui L. capătă forma:

$$\Delta f=\frac{1}{g_1g_2g_3}\left[\frac{\partial}{\partial u_1}\left(\frac{g_2g_3}{g_1}\frac{\partial f}{\partial u_1}\right)+\right.$$

$$\left.+\frac{\partial}{\partial u_2}\left(\frac{g_3g_1}{g_2}\cdot\frac{\partial f}{\partial u_2}\right)+\frac{\partial}{\partial u_3}\left(\frac{g_1g_3}{g_3}\frac{\partial f}{\partial u_3}\right)\right]=0.$$

În particular, în coordonate cilindrice $x=r.\cos\varphi$; $y=r.\sin\varphi$ și $z=z$, **e. lui L.** devine:

$$\Delta f=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial f}{\partial r}\right)+\frac{1}{r_2}\frac{\partial^2 f}{\partial\sigma^2}+\frac{\partial^2 f}{\partial z^2}=0,$$

iar în coordonate polare $x=r\sin\vartheta\cos\varphi$; $y=r\sin\vartheta\sin\varphi$ și $z=r,\cos\varphi$ are forma:

$$\Delta f=\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial f}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial f}{\partial\theta}\right)+$$

$$+\frac{1}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial^2 f}{\partial\varphi^2}=0.$$

E. lui L. intervine în numeroase aplicații din domeniul fenomenelor de transfer de căldură și masă și al mecanicii fluidelor.

Într-un sistem bidimensional, fără surse interioare de căldură, în ipoteza $\lambda=$ =const., distribuția temperaturii în corp în regim staționar de transfer de căldură este dată de **e. lui L.:**

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 t}{\partial y^2}=0,$$

a cărei soluție va exprima temperatura $t(x, y)$ în funcție de coordonatele x și y.

Această ecuație poate fi integrată, admițînd că distribuția temperaturii este de forma:

$$t(x, y)=X(z)Y(y).$$

Se obține o ecuație cu variabile separabile:

$$-\frac{1}{X}\cdot\frac{d^2X}{dx^2}=\frac{1}{y}\frac{d^2Y}{dy^2}\ (=\beta^2).$$

Deoarece membrul stîng este independent de y, iar membrul drept independent de x, rezultă că ambii termeni sînt independenți de x și y, putînd fi egali cu o constantă (β^2). Se obțin astfel două ecuații diferențiale simple:

$$\frac{d^2X}{dx^2}+\beta^2X=0;\quad\frac{d^2Y}{dy^2}-\beta^2Y=0,$$

cu soluțiile generale:

$$X=A\cos\beta x+B\sin\beta x;\ y=Ce^{\beta y}+De^{-\beta y}$$

Ca urmare, distribuția temperaturii în corp este:

$$t(x, y)=X\cdot Y=$$

$$(A\cos\beta x+B\sin\beta x)(Ce^{\beta y}+De^{-\beta y}),$$

în care A, B, C, D sînt constante de integrare care se determină pe baza condițiilor de limită.

Spre exemplificare, se consideră o placă subțire, plană, cu grosimea l, infinită pe direcțiile y și z, fără surse interioare de căldură (Fig. L.10). Cele două fețe ale

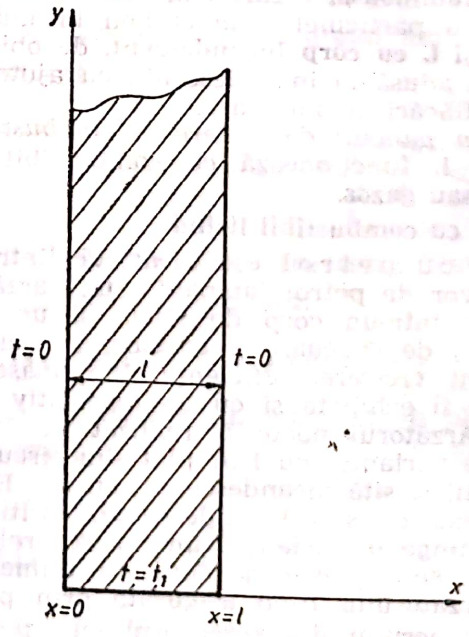


Fig. L.10. Placă plană infinită, de grosime l, fără surse interne de căldură.

plăcii sînt menținute la temperatura $t=0$, iar muchia inferioară la temperatura t_1, dată. Deoarece $\partial^2 t/\partial z^2$ este neglijabil, temperatura plăcii este în funcție numai de x și y.

În regim staționar, cu $\lambda = \text{const.}$, trebuie satisfăcute următoarele condiții la limită:

$t=0$, la $z=0$ pentru toate valorile lui y;
$t=0$, la $x=l$ pentru toate valorile lui y;
$t=t_1$, la $y=0$ pentru $0 \leqslant x \leqslant l$;
$t=0$, la $y=$ pentru $0 \leqslant x \leqslant l$.

Condiția $t=0$, la $x=0$ conduce la $A=0$. De asemenea, sin $\beta x=0$, pentru $x=l$, respectiv βl trebuie să fie multiplu întreg de π, adică $\beta = \frac{n\pi}{l}$;

Condiția ca $t=0$, la $y=\infty$, face ca $C=0$.

Notînd produsul constantelor $B.D=E$, distribuția temperaturilor devine:

$$t(x, y)=Ee^{-\frac{n\pi}{l}\cdot y}\cdot \sin\left(\frac{n\pi}{l}x\right).$$

Această expresie satisface ecuația pentru orice număr $n \geqslant 0$. Soluția generală se obține însumînd toate soluțiile posibile

$$t(x, y)=\sum_{n=1}^{\infty} E_n e^{-\frac{n\pi}{e}y} \sin\left(\frac{n\pi}{l}x\right).$$

Folosirea ultimei condiții la limită, $t=t_1$, la $y=0$, permite determinarea constantelor E_n din expresia:

$$t_1=\sum_{n=1}^{\infty} E_n \sin\left(\frac{\pi n}{l}x\right) \text{ (pentru } 0 \leqslant x \leqslant l)$$

Constantele E_n reprezintă *coeficienții Fourier*. Din această dezvoltare în serie:

$$\begin{cases} E_n=\dfrac{4t_1}{n\pi} & \text{pentru } n=1, 3, 5, \ldots \\ E_n=0 & \text{pentru } n=2, 4, 6, \ldots \end{cases}$$

În final, soluția problemei conducției bidirecționale în placa plană menționată este:

$$t(x, y)=\frac{4t_1}{\pi}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{e^{-(2n+1)\pi y/l}}{2n+1}\sin\frac{(2n+1)\pi x}{l};$$

În figura L.11, sînt reprezentate izotermele în placă, în conformitate cu soluția prezentată.

Pentru un număr mare de probleme tehnice din mecanica fluidelor, studiul

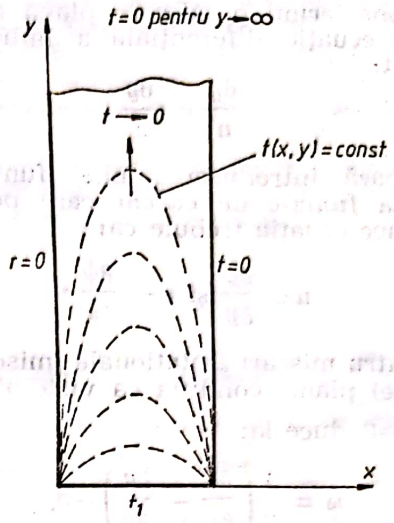


Fig. L.11. Izoterme în placă de grosime infinită.

mișcării potențiale a unui fluid este extrem de important. Prin mișcare potențială a unui fluid se înțelege o mișcare fără vîrtejuri ($w=0$). În acest caz, există o funcție $\varphi\ (x, y, z)$, numită *potențial de viteză*, astfel încît să fie satisfăcute condițiile

$$n=\frac{\partial\varphi}{\partial n};\ v=\frac{\partial\varphi}{\partial y};\ w=\frac{\partial\varphi}{\partial z},$$

u, v și w fiind componentele vitezei în sistemul de coordonate cartezian.

Considerînd ecuația continuității, în forma cea mai generală:

$$\frac{\partial\rho}{\partial t}+\operatorname{div}\vec{V}=0,$$

în care se înlocuiesc componentele vitezei cu derivatele parțiale ale funcției potențial (φ), se obține:

$$\frac{\partial\rho}{\partial t}+\left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}\right)=0,$$

care pentru un fluid incompresibil ($\rho=$ const.) devine:

$$\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}=0,$$

adică potențialul vitezelor satisface **e. lui L.**

De aici, se poate trage concluzia că numai funcțiile armonice pot determina scurgeri potențiale (irotaționale) ale unui fluid incompresibil.

Scanned with OKEN Scanner

Considerînd o mișcare plană a unui fluid, ecuația diferențială a liniilor de curent:

$$\frac{dy}{u} = \frac{dy}{v}$$

sugerează introducerea unei funcții ψ, numită *funcție de curent* care pentru a satisface ecuația trebuie ca:

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} \text{ și } v = \frac{\partial \psi}{\partial x}.$$

Pentru mișcări irotaționale (mișcări potențiale) plane, condiția ca vîrtejul să fie nul $\vec{\omega}=0$, duce la:

$$\omega = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right) = 0,$$

și ca urmare:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0,$$

adică în mișcarea potențială plană a unui fluid incompresibil și funcția de curent satisface **e. lui L.**, deci este o funcție armonică.

LAPLACE (Operatorul lui) Operator matematic de formă generală:

$$\Delta = \Sigma \frac{\partial^2}{\partial x_i^2} \quad (i=1, 2, 3).$$

Aplicat unei funcții oarecare $f(x, y, z)$, **o. lui L.** are forma:

$$\Delta f(x, y, z) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}.$$

O. lui L. intervine în numeroase ecuații ale fenomenelor de transfer și mecanicii fluidelor.

În transferul de căldură, ecuația conducției termice, în forma generală este:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho c_p}\left[\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right] + \frac{q_v}{\rho c_p},$$

Aplicînd **o. lui L.**, ecuația poate fi restrînsă sub forma

$$\frac{1}{a}\frac{\partial t}{\partial \tau} = \Delta t + \frac{q_v}{\lambda},$$

unde $a = \lambda / \rho \cdot c_p$.

În transferul de masă, legea a doua de difuzie a lui Fick se exprimă:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} = D\left(\frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \rho}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \rho}{\partial z^2}\right)$$

care, utilizînd **o. lui L.**, se scrie restrîns:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} = D \cdot \Delta \rho.$$

În mecanica fluidelor, ecuațiile diferențiale ale mișcării unui fluid vîscos incompresibil au forma generală:

$$\rho \frac{du}{dt} = \rho f_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \eta\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right)$$

$$\rho \frac{dv}{dt} = \rho f_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \eta\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right),$$

care se pot scrie restrîns utilizînd **o. lui L.**

$$\rho \frac{du}{dt} = \rho f_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \eta \Delta u.$$

$$\rho \frac{dv}{dt} = \rho f_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \eta \Delta v.$$

Expresia simbolică:

$$\Delta = \frac{\partial}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial}{\partial z}\vec{k}$$

reprezintă un vector simbolic și, în același timp, un operator diferențial (nabla). Se observă imediat că produsul scalar

$$\nabla \cdot \nabla = \frac{\partial}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z^2} = \nabla^2$$

este tocmai **o. lui L.**

$$\Delta = \nabla^2.$$

LAVAL, Gustav de. Inginer suedez (1845—1913). A fost inventatorul turbinei cu abur cu acțiune, cu trepte de viteză pe o singură roată și cu ajutaje convergent-divergente (1883).

LAVOISIER, Antoine Laurent de. Chimist francez (1743—1794). A fost unul din creatorii chimiei moderne. În 1782, împreună cu Laplace, a pus bazele calorimetriei, efectuînd măsurători calorimetrice care au cuprins aspectele principale ale acțiunii calorice: căldurile specifice ale corpurilor solide, lichide și gazoase, căldurile de schimbare de fază, căldurile de dizolvare sau reacție. Cei doi savanți, lucrînd în strînsă colaborare, au continuat opera lui Black, precizînd diferitele noțiuni introduse de acesta.

În 1788, a elaborat o teorie a gazelor în care intervine principiul căldurii, nu-

Scanned with OKEN Scanner

mit de savant caloric şi considerat ca un element fundamental al naturii, alături de lumină şi electricitate.

LEGE. Expresie a unor legături esenţiale, necesare şi generale între laturile interne ale unui obiect sau fenomen, sau între obiecte şi fenomene diferite. De asemenea, poate exprima legături între stadiile succesive ale unui anumit proces. Aceste legături trebuie să fie relativ stabile şi repetabile.

L. fizicii exprimă legături obiective din natură, independente de conştiinţa oamenilor, care nu le pot crea, transforma sau suprima, cunoaşterea putînd numai să reflecte aceste legi.

Legăturile exprimate în **l.** sînt necesare, în sensul că ele există ori de cîte ori se repetă condiţiile la care se referă.

Descoperirea legilor este făcută, în general, pe baza experienţei, **l.** verificîndu-se prin practică. Pe măsură ce se dezvoltă cunoaşterea ştiinţifică, se constată că unele **l.** reprezintă numai o aproximaţie a fenomenelor implicate, descoperindu-se forme din ce în ce mai precise de exprimare a acestora.

L. fizice pot fi generale, dacă nu conţin constante de material (ex.: **l.** fundamentală a dinamicii, $\vec{F}=m\cdot\vec{a}$.), sau legi de materiale, dacă conţin astfel de constanţe (ex.: **l.** frecării, $F_f=\mu N$).

L. pot fi nespecifice, dacă în ele intervin numai mărimi şi proprietăţi definite pentru orice ramură a fizicii, ele numindu-se şi principii (ex.: **l.** sau principiul conservării energiei); legile pot fi specifice, dacă conţin mărimi sau proprietăţi caracteristice numai unei anumite ramuri a fizicii, ele numindu-se şi legi în sens restrîns (ex.: **l.** gazelor perfecte).

O **l.** fizică poate fi exprimată, matematic, prin ecuaţii sau sisteme de ecuaţii algebrice, diferenţiale, integrale sau integro-diferenţiale. Întrucît orice **l.** fizică este omogenă, formula care o exprimă trebuie să aibă termenii echidimensionali.

Un fenomen concret nu poate fi cunoscut numai din **l.** referitoare la el, ci trebuie precizate şi condiţiile privind starea iniţială şi condiţiile la limită (frontieră).

Totalitatea fenomenelor care se supun unei **l.**, exprimată prin relaţii de aceeaşi formă, constituie o clasă de fenomene similare, dacă ele fac parte din acelaşi domeniu al fizicii, sau o clasă de fenomene analoage, dacă fac parte din domenii diferite.

LENOIR, Etienne. Inginer francez (1822—1900). A perfecţionat ideea lui Beau de Rochas privind motorul cu ardere internă. În 1860 a obţinut primul brevet al motorului cu aprindere prin scînteie.

LEWIS (Criteriul). Număr adimensional, caracteristic fenomenelor de curgere staţionară unidirecţională care implică transfer de căldură şi masă (ex.: propagarea flăcării).

Este definit prin raportul:

$$\mathrm{Le}=\frac{a}{\mathcal{D}}$$

între difuzivitatea termică, $a=\frac{\lambda}{c_p\cdot\rho}$ (λ — conductivitatea termică, c_p — căldura specifică la presiune constantă, ρ — densitatea) şi coeficientul de difuzie, $\mathcal{D}$.

Pentru acest gen de procese, ecuaţia energiei se poate exprima în forma:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left(\lambda\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}x}\right)+c_p\cdot\rho\cdot u\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}x}+wQ'=0,$$

unde: T este temperatura; x — coordonata pe direcţia de curgere; u — viteza de curgere; w — viteza totală a reacţiei; Q' — energia eliberată prin reacţie, pe moleculă). Pentru fiecare specie (i) participantă la reacţie, ecuaţia difuziei are expresia:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\mathcal{D}_i\cdot\rho\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left(\frac{d_i}{\rho}\right)+u\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left(\frac{a_i}{\rho}\right)-w_i=0,$$

în care: D_i este coeficientul de difuzie; a_i — concentraţia; w_i — viteza reacţiei, pentru specia i.

Dacă sînt satisfăcute condiţiile:

— substanţele constituente sînt gaze ideale cu coeficienţi de difuzie şi mase molare de valori foarte apropiate ($\mathcal{D}_i\cong\mathcal{D}$, $M_i\cong M$);

— reacţia chimică este omogenă, decurgînd cu viteze sensibil egale în raport cu toţi reactanţii ($w_i\cong w$);

— termodifuzia, schimbul de căldură datorat gradientului de concentraţie, precum şi cel cu pereţii vasului de reacţie sînt neglijabile, atunci ecuaţiile difuziei vor avea o formă unică pentru toţi constituenţii şi cu schimbările de variabilă:

$$\theta=\frac{T-T_0}{T_f-T_0}\quad\text{şi}\quad\alpha=\frac{\alpha-\alpha_0}{\alpha_f-\alpha_0}$$

în care T şi a sînt temperatura, respectiv

concentrația curentă, iar indicii 0 și f se referă la starea inițială, respectiv finală.

Înmulțind și ecuația difuziei cu $c_p\rho$, rezultă:

$$\frac{d}{dx}\left(\lambda\frac{d\theta}{dx}\right)+c_p\rho u\cdot\frac{d\theta}{dx}+\frac{w\cdot Q'}{T_f-T_0}=0$$

și

$$\frac{d}{dx}\left(c_p\rho\mathcal{D}\frac{d\alpha}{dx}\right)+c_p\rho u\cdot\frac{d\alpha}{dx}-\frac{c_p\rho w}{c_f-c_0}=0.$$

Compararea celor două ecuații ne arată că $\mathcal{D}=\frac{\lambda}{c_p\rho}=a$ (Le=1), reprezintă condiția de asemănare a cîmpurilor de temperaturi și concentrații ($\theta=\alpha$):

$$\frac{T-T_0}{T_f-T_0}=\frac{a-a_0}{a_f-a_0},$$

iar egalarea termenilor finali ai aceleiași ecuații:

$$(a_0-a_f)Q'=\rho c_p(T_f-T_0)$$

evidențiază că energia chimică eliberată este folosită doar pentru creșterea temperaturii gazelor din zona de reacție, sau, altfel:

$$a_0Q'+\rho c_pT_0=a_fQ'+\rho c_pT_f$$

că suma energiilor chimică și termică se conservă în limitele frontului de reacție (flacără).

LICHEFIERE. Trecere a unui gaz în stare lichidă. **L.** gazelor se poate realiza prin diferite procedee termodinamice: răcire, comprimare, comprimare însoțită de răcire, comprimare urmată de destindere etc., care au ca scop reducerea parametrilor de stare ai gazului în domeniul schimbării de fază.

a) Procedeul de l. prin răcire sau comprimare.

În cazul **l. prin răcire,** gazul aflat inițial la parametrii atmosferici p_a și t_a (Fig. L.12) este răcit izobar pînă la atingerea temperaturii de saturație corespunzătoare presiunii atmosferice, obținîndu-se **l.** (procesul 1—2′). În cazul **l. prin comprimare,** gazul este comprimat în una sau mai multe trepte, cu răcire intermediară și finală (comprimare izotermică) pînă la atingerea presiunii de saturație corespunzătoare temperaturii atmosferice, obținîndu-se **l.** (procesul 1—2″). Pentru ca acest procedeu să fie posibil trebuie ca parametrii critici ai gazului să fie superiori parametrilor atmosferici ($t_k>t_a$ și, respectiv $p_k>p_a$). De exemplu, în cazul anhidridei sulfuroase (SO_2), $p_k=78{,}85$ bar și $t_k=157{,}3$ °C. Plecînd de la parametrii atmosferici ($p_a=1$ bar și $t_a=20$ °C), prin răcire izobară, **l.** se obține la —15°C, iar prin comprimare izotermică, la 3,5 bar. Pentru anhidrida carbonică (CO_2) la temperatura de +20°C, **l.** se obține la presiunea de 57,35 bar etc.

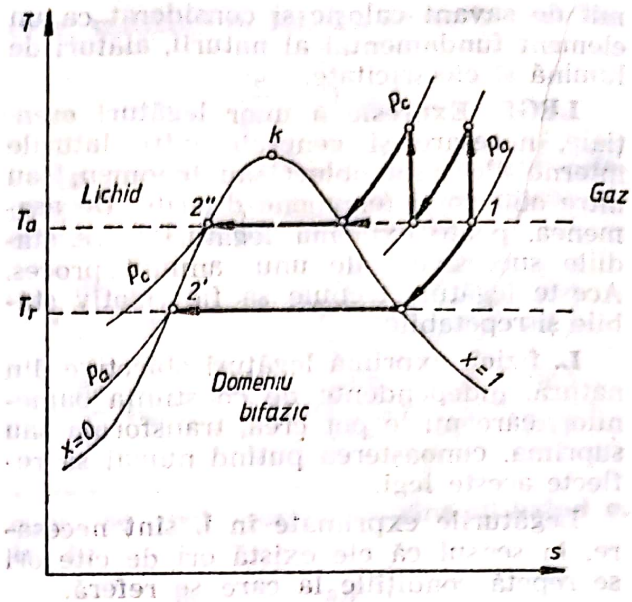


Fig. L.12. Procesul de lichefiere prin răcire sau comprimare.

b) Procedeul Linde cu o laminare.

Se utilizează în special pentru **l.** aerului. Schema instalației este prezentată în figura L.13. Compresorul C comprimă ae-

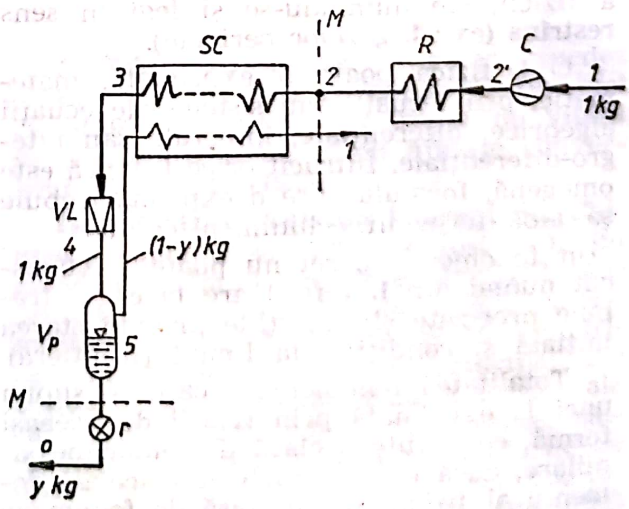


Fig. L.13. Instalația de lichefiere Linde, cu o laminare:
C — compresor; R — răcitor; SC — schimbător de căldură; VL — ventil de laminare; V_p — vaporizator-separator; r — robinet.

rul atmosferic în mai multe trepte cu răciri intermediare, de la starea 1 la starea 2′ (Fig. L.14). Comprimarea poate avea loc în unele instalații la presiuni p_f mai mari decît presiunea critică p_k, iar în alte

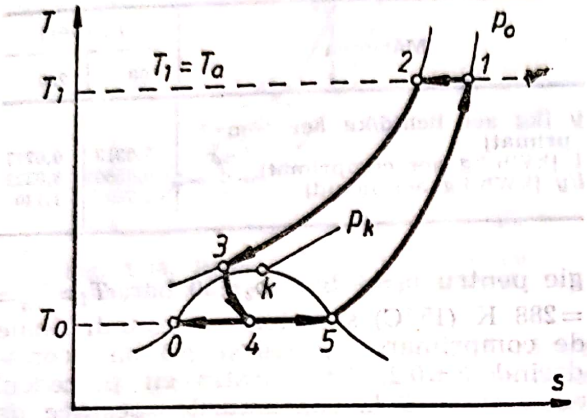


Fig. L.14. Procedeul de lichefiere Linde cu o laminare.

instalații, la presiuni p_f mai mici decît aceasta. În starea 2′, aerul comprimat intră în răcitorul final R în care este răcit, teoretic, pînă la temperatura ambiantă. Aerul comprimat este răcit în continuare, cu vapori reci, în schimbătorul de căldură SC, de la starea 2 la starea 3. În ventilul VL, se realizează prin **l.** o scădere a presiunii, teoretic pînă la presiunea atmosferică, intrîndu-se în domeniul bifazic și obținîndu-se în felul acesta **l.** unei fracțiuni din cantitatea de aer (procesul 3—4). Separarea acestui lichid de vaporii săi are loc în butelia B. Vaporii reci sînt trecuți în schimbătorul de căldură SC, răcind aerul comprimat și apoi sînt evacuați în atmosferă.

În cazul general al unui proces de **l.** bazat pe acest procedeu, este necesar ca efectul elementar Joule-Thompson să fie pozitiv, chiar pentru starea gazului comprimat la ieșirea din răcitorul final, pentru ca amorsarea procesului să poată avea loc la punerea în funcțiune a instalației. În cazul că această condiție nu este satisfăcută (cazul heliului, de exemplu), gazul comprimat trebuie răcit cu o instalație auxiliară pînă la o stare la care efectul Joule-Thompson devine pozitiv. Din ecuația de bilanț termic, scrisă între limitele M—M, rezultă expresia fracțiunii y din gaz lichid obținut:

$$y = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_0} \quad \left[\frac{\text{kg gaz lichid}}{\text{kg gaz comprimat}}\right].$$

Lucrul mecanic necesar comprimării, considerînd procesul în mai multe trepte proces izotermic, se calculează cu formula:

$$l = f_1 \cdot R \cdot T_1 \left(\frac{T_1}{273}\right) lg \left(\frac{p_2}{p_1}\right) \quad \left[\frac{\text{kWh}}{\text{kg}}\right].$$

unde f este un factor de corecție avînd valoarea $f = 1{,}65$. În cazul aerului, relația devine:

$$l = 0{,}0827 \left(\frac{T_1}{273}\right) \lg \left(\frac{p_2}{p_1}\right) \quad \left[\frac{\text{kWh}}{\text{kg}}\right].$$

În tabelul L.4, sînt calculate fracțiunea de aer lichid obținut și consumul specific de energie pentru $p_1 = 1$ bar, $T_1 = T_a = 288$ K (15 °C) și valorile presiunii

Tabelul L.4

Fracțiunea de aer lichid obținut și lucrul mecanic consumat pentru $p_1 = 1$ bar și $T_1 = T_a = 288$ K

Mărimea	p_2 [bar]		
	50	100	200
y [kg aer lichid/kg aer comprimat]	0,0282	0,0554	0,0953
l [kWh/kg aer comprimat]	0,148	0,174	0,200
l/y [kWh/kg aer lichid]	5,24	3,14	2,08

finale de comprimare $p_2 = 50$, 100 și 200 bar. Consumul specific de energie, raportat la cantitatea de aer lichid obținut, scade odată cu creșterea presiunii aerului comprimat.

c) Procedeul Linde cu două laminări. Lucrul mecanic specific de comprimare l/y poate fi sensibil micșorat prin deplasarea stării vaporilor umezi în care se află aerul după **l.**, în sensul micșorării titlului lor. O asemenea condiție se obține prin folosirea a două **l.**, ceea ce implică folosirea unui circuit închis înspre zona presiunii ridicate. În figura L.15 este prezentată schema instalației, iar în figura L.16 procesul termodinamic, în diagrama T—s. Din bilanțul termic scris între secțiunile M—M, cantitatea de gaz lichid y

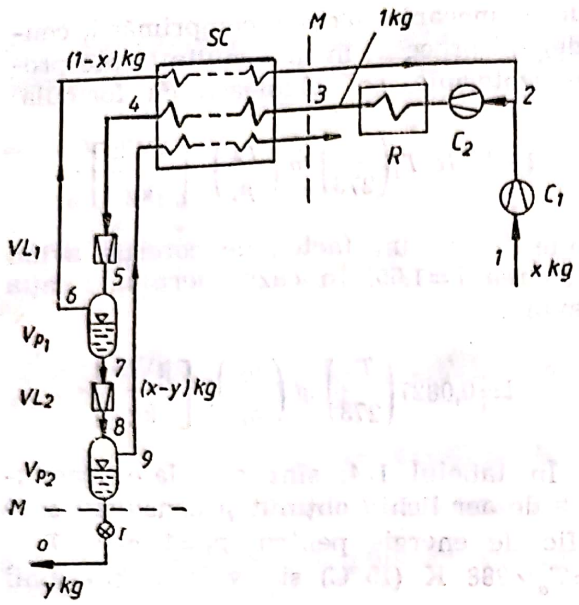


Fig. L.15. Instalația de lichefiere Linde cu două laminări:

C_1, C_2 — compresoare; R — răcitor; SC — schimbător de căldură; VL_1, VL_2 — ventile de laminare; V_{p_1}, V_{p_2} — vaporizatoare-separatoare; r — robinet.

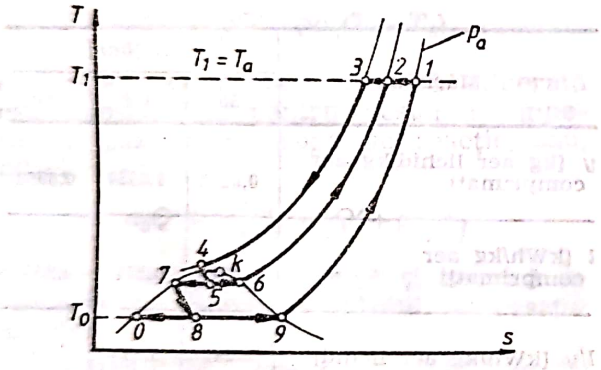


Fig. L.16. Procedeul de lichefiere Linde cu două laminări.

obținută pentru 1 kg de aer comprimat se exprimă:

$$y=\frac{x(h_1-h_2)+(h_2-h_3)}{h_1-h_0},$$

în care x este fracțiunea separată sub formă de vapori în butelia B_1.

Lucrul mecanic necesar pentru comprimare are expresia:

$$l=f\cdot RT_1\left[x\cdot\ln\frac{p_2}{p_1}+1g\frac{p_3}{p_2}\right]\left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

care pentru aer devine:

$$l=0{,}0827\left(\frac{T_1}{273}\right)\left[x\cdot\lg\frac{p_2}{p_1}+\lg\frac{p_3}{p_2}\right]\left[\frac{kWh}{kg}\right]$$

În tabelul L.5 sînt calculate fracțiunea de aer lichid obținut și consumul de energie pentru $p_1=1$ bar, $p_2=50$ bar, $T_1=T_a=288$ K (15 °C) și valorile presiunii finale de comprimare $p_3=100$ și 200 bar, considerînd $x=0{,}2$. Comparativ cu procedeul cu o singură l., consumurile specifice de energie sînt mult mai mici.

Tabelul L.5

Fracțiunea de aer lichid obținut și lucrul mecanic consumat pentru $p_1=1$ bar; $p_2=50$ bar și $T_1=T_a=288$ K

Mărimea	p_3 [bar]	
	100	200
y [kg aer lichid/kg aer comprimat]	0,0313	0,0717
l [kWh/kg aer comprimat]	0,0560	0,0822
l/y [kWh/kg aer lichid]	1,780	1,140

d) Procedeul Claude, cu expansiunea gazului la temperatură scăzută.

Sînt două scheme uzuale, ambele caracterizate prin existența unui detentor (cu piston sau turbodetentor), însă unele scheme sînt realizate cu două schimbătoare de căldură, în timp ce altele, cu trei schimbătoare de căldură. În figura L.17

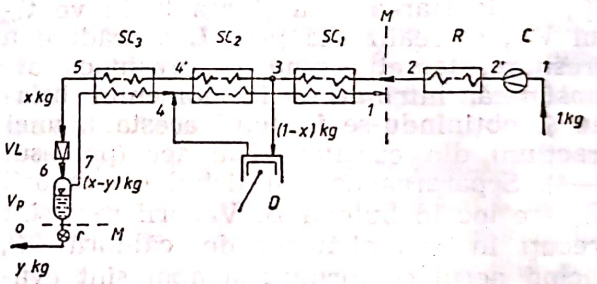


Fig. L.17. Instalația de lichefiere cu expansiune la temperatură scăzută (Claude):

C — compresor; R — răcitor; SC_1, SC_2, SC_3 — schimbătoare de căldură; D — detentor; VL — ventil de laminare; V_p — vaporizator-separator; r — robinet.

este prezentată schema unei instalații cu trei schimbătoare de căldură, iar în figura L.18, procesul termodinamic în diagrama T—s.

Gazul este comprimat în compresorul C, de la starea 1 la starea 2, teoretic izoterm (în mai multe trepte cu răcire intermediară), după care este introdus în răcitorul final R. În continuare, gazul este răcit trecînd succesiv prin mai multe schimbătoare de căldură. Răcirea se execută cu gaz rece, obținut parțial prin separarea vaporilor saturați uscați în butelia B și parțial prin destinderea unei frac-

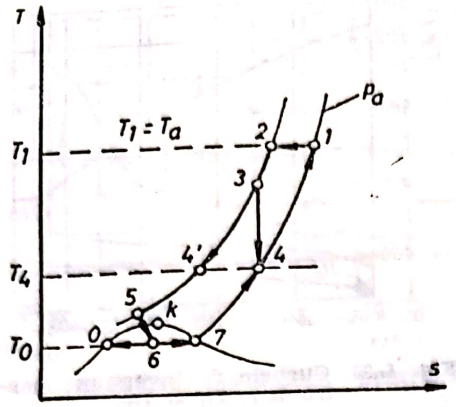


Fig. L.18. Procedeul de lichefiere cu expansiune la temperatură scăzută.

ţiuni x în detentor. Prin această răcire puternică (procesul 3—5), gazul este adus în vecinătatea domeniului de l. şi, printr-o laminare, efectuată teoretic pînă la presiunea atmosferică, se intră în domeniul bifazic şi se obţine l. fracţiunii y (procesul 5—6). În butelia B, se realizează separarea lichidului de vaporii săi.

Din bilanţul termic, scris între punctele M—M, se deduce expresia fracţiunii y:

$$y = \frac{(h_1 - h_2) + (1 - x)(h_3 - h_4)}{h_1 - h_0} \left[\frac{\text{kg gaz lichid}}{\text{kg gaz comprimat}}\right],$$

în care x reprezintă fracţiunea destinsă în detentor. În cadrul acestui procedeu, în maşina detentoare se produce lucru mecanic utilizabil. Consumul de energie necesar l. prezintă minime în raport cu fracţiunea x, deci în anumite condiţii există totdeauna o fracţiune optimă ce se destinde în detentor.

e) Procedeul Heylandt, cu expansiunea gazului de la temperatura ambiantă.

Din punct de vedere principial, este asemănător cu procedeul Claude, singura deosebire constînd în prelucrarea fracţiunii destinsă în detentor imediat după răcitorul final al compresorului, deci la temperatura ambiantă. Faţă de procedeul Claude, procedeul Heylandt se caracterizează prin necesitatea unor presiuni mai ridicate ale gazului comprimat (în cazul l. aerului 150...200 bar) şi prin absenţa primului schimbător de căldură.

În figura L.19, este prezentată schema instalaţiei, iar în figura L.20 sînt figurate, în diagrama T—s, procesele termodinamice din instalaţie. Comparativ cu celelalte procedee, ciclul de înaltă presiune cu de-

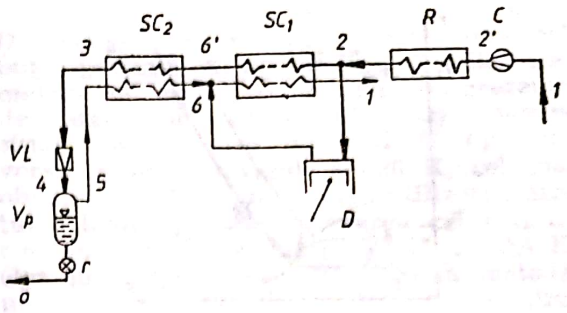


Fig. L.19. Instalaţia de lichefiere cu expansiune la temperatură ambiantă (Heylandt):
C — compresor; R — răcitor; SC_1, SC_2 — schimbătoare de căldură; D — detentor; VL — ventil de laminare; V_p — vaporizator-separator; r — robinet.

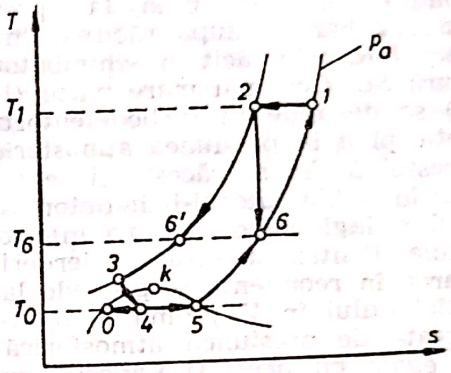


Fig. L.20. Procedeul de lichefiere Heylandt.

tentor cu piston este mai eficient în cazul temperaturilor de intrare în detentor mai mari ca 275 K.

f) Procedeul Kapiţa.

Acest procedeu a fost folosit mai întîi pentru obţinerea aerului lichid, iar ulterior şi în instalaţiile de separare pentru obţinerea oxigenului lichid. În figura L.21, este prezentată schema instalaţiei,

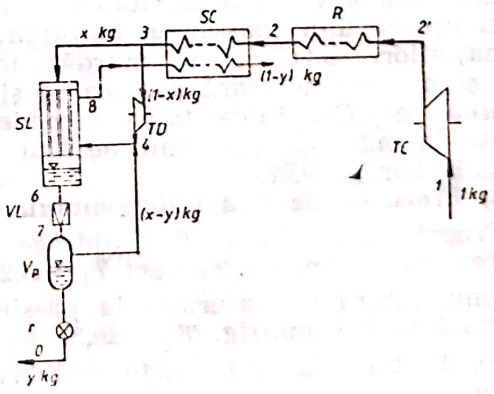


Fig. L.21. Instalaţia de lichefiere Kapiţa:
TC — turbocompresor; R — răcitor; SC — schimbător de căldură; SL — separator-lichefiator; TD — turbodetentor; VL — ventil de laminare; V_p — vaporizator-separator; r — robinet.

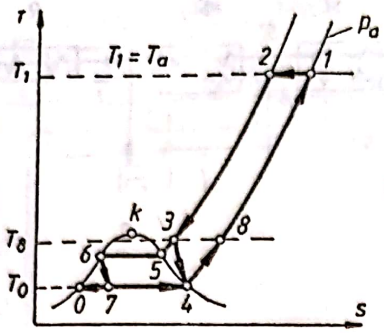


Fig. L.22. Procedeul de lichefiere Kapița.

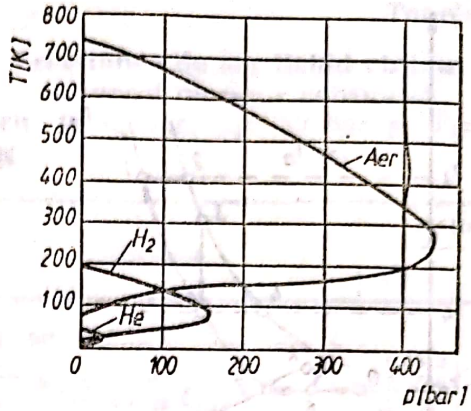


Fig. L.23. Curbele de inversiune pentru aer, H_2 și He.

iar în figura L.22 sînt reprezentate, în diagrama T—s, procesele termodinamice din aceasta. Aerul este comprimat în turbocompresorul TC pînă la presiunea $p_2=6\ldots7$ bar și, după răcirea finală în răcitorul R, este răcit în schimbătorul de căldură SC. Cea mai mare parte ($1—M=94\%$) se destinde în turbodetentorul TD, teoretic pînă la presiunea atmosferică, p_1, iar restul M kg se răcește și se condensează în schimbătorul-lichefiator SL, lichidul strîngîndu-se în cuva inferioară a acestuia. Pentru micșorarea pierderilor la vărsarea în recipiente se prevede laminarea lichidului în VL, pînă la o presiune apropiată de presiunea atmosferică (teoretic egală cu acesta). Vaporii reci formați și aerul destins în turbodetentor formează curentul de înapoiere în SL și SC.

Fracțiunea y de aer lichid produs:

$$y=\frac{(h_1-h_2)+(1-M)(h_3-h_4)}{h_1-h_0}$$

are valori de 0,04 ... 0,045 kg aer lichid/kg aer comprimat, iar lucrul mecanic specific: $l/y=1{,}5\ldots1{,}7$ kWh/kg aer lichid. Consumul de energie este ridicat, explicîndu-se prin pierderile mari de frig către mediul ambiant. Particularitatea și avantajul procedeului constau în folosirea turbomașinilor. Aerul nu se murdărește de ulei și nu este necesară uscarea sa și curățarea de CO_2. Eficacitatea procedeului crește la mărirea presiunii aerului (la 12 ... 14 bar, $y=0{,}07$).

g) Procedee de l. a hidrogenului.

Proprietățile fizice ale hidrogenului (starea critică: $p_k=12{,}94$ bar; $T_k=33{,}25$ K și temperatura de saturație la presiunea normală de 760 mmHg, $T_{Ns}=20{,}37$ K) fac să existe un domeniu foarte restrîns de temperaturi, la un nivel foarte coborît, în care este posibilă l. De asemenea, temperatura maximă sub care efectul Joule-Thompson devine pozitiv se situează sub 200 K (—73 °C) (v. curbele de inversiune din figura L.23), ceea ce face posibilă utilizarea laminării cu efect de răcire numai sub această temperatură. Din motivele menționate, procedeele clasice de l. nu pot fi aplicate decît cu adaptări specifice.

L. hidrogenului implică trei operații fundamentale: epurarea gazului conținînd hidrogenul de **l.**, conversiunea „orto-para" și producerea frigului adînc necesar lichefierii.

Epurarea hidrogenului se impune, deoarece oricare ar fi procedeul de obținere al lui, el conține impurități. Dintre acestea, prezența oxigenului este foarte periculoasă, din cauza proprietăților explozive ale amestecului. În tabelul L.6 se

Tabelul L.6

Compoziția gazului bogat în hidrogen

Procedeul de obținere	Compoziția [% vol]					
	H_2	CH_4	CO	N_2	Ar	O_2
gaze naturale	95,0	3,3	1,4	0,3	—	—
oxidarea parțială a petrolului	95,5	0,6	2,4	0,4	1,1	—
electroliza apei	99,75	—	—	0,15	—	0,1

prezintă compoziția gazului bogat în hidrogen pentru diferite procedee de obținere. Dintre pocedeele de epurare se pot menționa: spălarea cu solvenți, adsorbția în silicagel sau cărbune activ la temperatura azotului lichid sau difuzia în masă de paladiu.

Conversiunea „orto-para" a hidrogenului. Molecula de hidrogen se găsește sub două forme diferite determinate de orientarea spinilor nucleari: forma „orto" la care spinii nucleari ai celor doi protoni sînt paraleli și forma „para" la care spinii sînt antiparaleli. Proporția în care se află cele două forme influențează proprietățile hidrogenului. Există o proporție de echilibru a celor două forme care este în

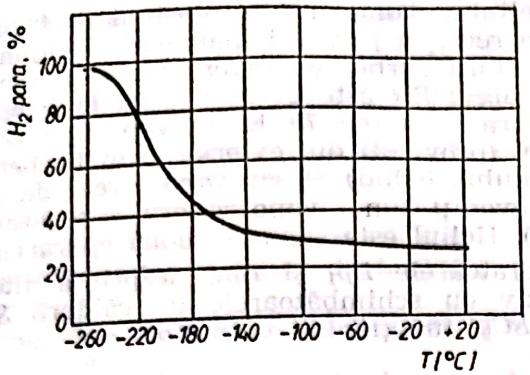


Fig. L.24. Echilibrul „orto-para" pentru H_2.

funcție de temperatură (Fig. L.24). La temperatura ambiantă (~ 300 K), hidrogenul prezintă o proporție aproape constantă a celor două forme (25% para+ +75% orto) și se numește hidrogen normal. La temperaturi joase, echilibrul se deplasează către forma „para" (la 20 K, proporția este 99,8% para+0,2% orto). Conversiunea „orto-para" este exotermică, efectul termic crescînd odată cu scăderea temperaturii (la $T=50$ K căldura degajată prin conversiune este de 38 J/g). Dacă se lichefiază H_2 normal și se depozitează, are loc o conversie nelentă, cu degajare de căldură, care va vaporiza o parte din lichid, constituind o pierdere.

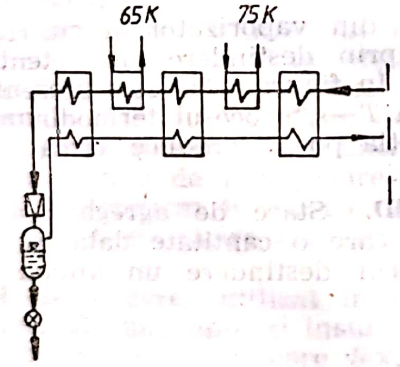


Fig. L.25. Instalație de lichefiere cu o laminare.

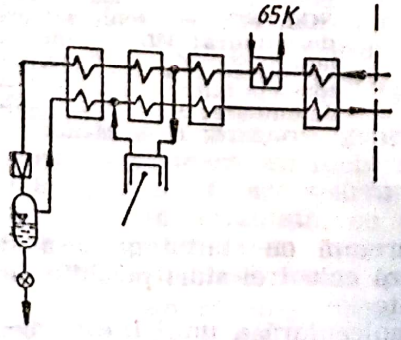
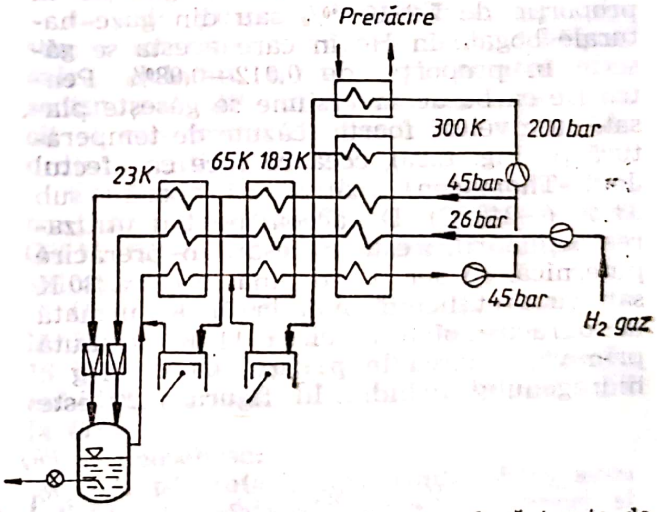


Fig. L.26. Instalație de lichefiere cu laminare și expansiune.

De aceea, este necesară o conversiune cel puțin parțială înaintea l. Se pot aplica trei metode de conversiune, toate în prezență de catalizatori (Pt, Ni, FeO, CrO): conversiune continuă (în procesul de l.); conversiune în intervalul 90—20 K, cel mai obișnuit la 65 K sub vid, cu utilizarea azotului lichid pentru evacuarea căldurii de conversiune; conversiune totală la 20,4 K. Cea mai economică este prima metodă, utilizîndu-se global, pentru conversiune și l. 3,9 kWh/kg H_2 lichid față de 47 și, respectiv, 5,3 kWh/kg H_2 lichid.

Producerea frigului adînc. Procedeele utilizate constituie adaptarea procedeelor de l. a aerului la l. hidrogenului, ținînd cont de particularitatea acestuia de a prezenta efect Joule-Thompson pozitiv numai sub 200 K. Hidrogenul comprimat este prerăcit pînă la 65 K prin vaporizarea azotului lichid pînă la procentul de 58% H_2 — para și apoi continuă în colectorul de H_2 lichid pînă la 95% H_2 — para. În figurile L.25, L.26, L.27 și L.28 sînt prezentate schemele uzuale de l. a hidrogenului. Comparativ, procedeul cel mai eco-



L.27. Instalație de lichefiere cu două trepte de expansiune și cu prerăcire.

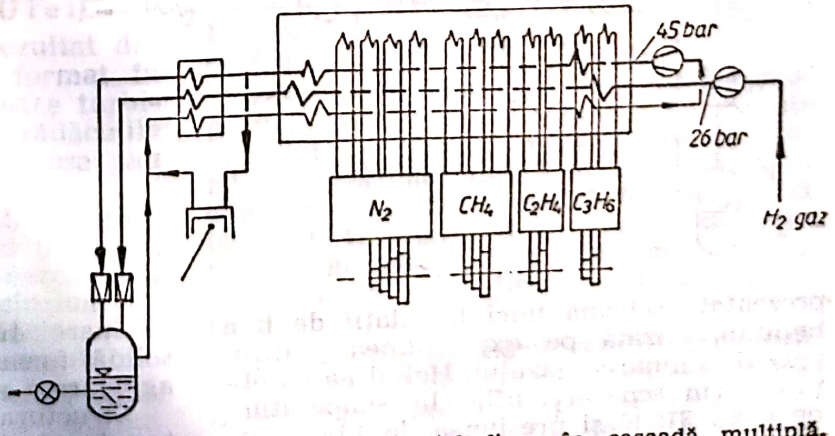


Fig. L.28. Instalație de lichefiere în cascadă multiplă.

nomic este cel bazat pe mai multe procese în cascadă, caracterizat prin 11 trepte de vaporizare; consumul specific de energie este de 0,94 kWh/m^3_N H_2 lichid. Procedeul are loc cu conversiunea continuă a hidrogenului pînă la forma 99% para. Al doilea proces în ordinea economicității este procesul în două trepte de expansiune și cu prerăcire. Consumul specific este de 1,04 kWh/m^3_N H_2 lichid. Procesul are loc cu conversia continuă a hidrogenului pînă la forma 99% para. Al treilea se situează procedeul Claude, aplicat la l. hidrogenului, cu un consum specific de energie de 1,25 kWh/m^3_N H_2 lichid.

h) Procedee de l. a heliului.

Importanța din punct de vedere tehnic a l. heliului constă în posibilitatea obținerii unor temperaturi scăzute (pînă la 0,5 K), la care se pot studia proprietățile fizice modificate ale substanțelor, precum și unele fenomene deosebite care apar la temperaturi scăzute (supraconductibilitatea). Heliul gazos se obține prin separarea unor amestecuri gazoase l., cum ar fi aerul atmosferic în care He se găsește în proporție de $5{,}2 \cdot 10^{-4}$% sau din gaze naturale bogate în He în care acesta se găsește în proporție de 0,012—0,08%. Pentru He curba de inversiune se găsește plasată la niveluri foarte scăzute de temperatură (v. Fig. L.23), ceea ce face ca efectul Joule-Thompson pozitiv să apară sub 33 K (—240 °C). De aceea, pentru utilizarea laminării, este necesară o prerăcire puternică, cu aer lichid pînă la circa 80 K sau cu azot lichid pînă la 77 K, urmată de o răcire pînă la circa 14 K obținută prin vaporizarea la $p = 50 \ldots 60$ mm Hg a hidrogenului lichid. În figura L.29 este prezentată schema unei instalații de l. a heliului, bazată pe expansiunea politropică și laminarea gazului. Heliul gazos obținut prin separare, aflat la temperatura de circa 310 K și presiunea de 1 bar, este comprimat pînă la presiunea de 19 bar (Heliul se comprimă la presiuni $p = 40$ bar, deoarece, la presiuni mai mari, se ajunge în afara curbei de inversiune). În prerăcitoarele *PR* este prerăcit pînă la temperatura de circa 79 K cu vapori reci de azot (proveniți din exterior prin fierberea azotului lichid) și cu vapori reci de He (proveniți din vaporizatorul separator V_p). Heliul este supus la două epurări în epuratoarele Ep_1 și Ep_2, desprinse alternativ cu schimbătoarele de căldură SC_1 și SC_2, funcționînd cu vapori reci de He proveniți din vaporizator și cu He rece obținut prin destindere în detentoarele D_1 și D_2. În figura L.30, este prezentat, în diagrama *T—s*, procesul termodinamic de l. Instalația poate produce circa 120 l/h He lichid.

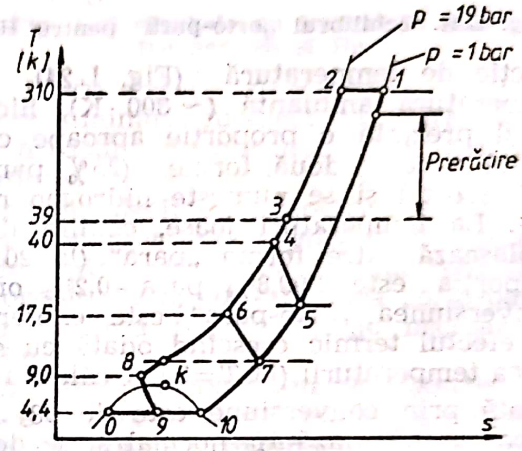


Fig. L.30. Procesul de lichefiere al heliului.

LICHID. Stare de agregare a unui fluid, în care o cantitate dată nu poate umple prin destindere un volum oricît de mare. Împreună cu starea gazoasă și solidă, formează cele trei stări posibile de agregare a materiei.

Structura moleculară a unui l. este determinată de echilibrul între acțiunea orientată a forțelor intermoleculare și

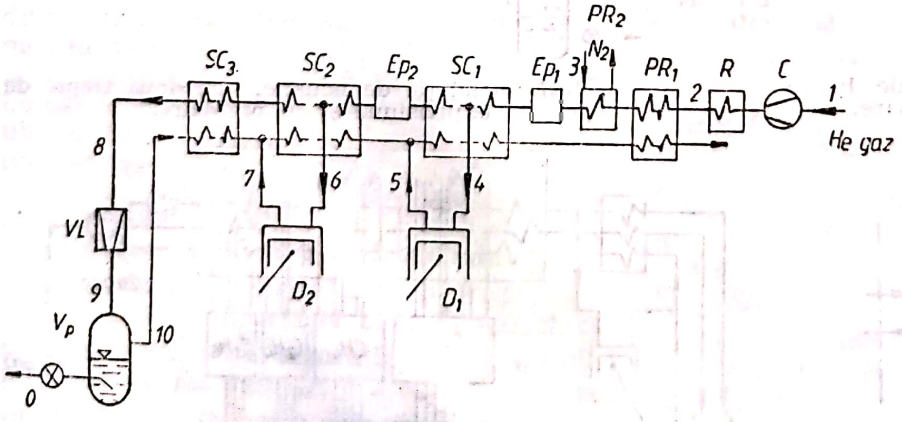


Fig. L.29. Instalația de lichefiere a heliului: C — compresor; PR_1 — prerăcitor cu gaz rece; PR_2 — prerăcitor cu vapori reci de azot; SC_1, SC_2, SC_3 — schimbătoare de căldură; *VL* — ventil de laminare; V_p — vaporizator-separator; D_1, D_2 — detentoare; Ep_1, Ep_2 — epuratoare; *R* — răcitor.

agitația termică. Cu cît valoarea temperaturii este mai înaltă, agitația termică este mai puternică, orientarea particulelor fiind realizată pe distanțe mai mici. Situația de ordine în masa lichidului dispare de la o anumită valoare a temperaturii, numită temperatură critică, peste acest nivel de temperatură l. transformîndu-se în gaz.

Din punctul de vedere al utilizării, cele mai reprezentative tipuri de l. sînt următoarele:

— **l. de circulație,** fluid utilizat la spălarea sondelor;

— **l. de frînă,** care este l. utilizat la frînele hidraulice, prin intermediul căruia se face legătura între cilindrul principal și cilindrii receptori. **L.** de frînă trebuie să satisfacă următoarele condiții: să nu fie corosiv pentru cilindrii și pistoanele frînei, pentru conducte, tuburi flexibile sau garnituri; să prezinte punctul de congelare scăzut; să nu fie inflamabil.

În general, l. de frînă sînt amestecuri, dintre care cele mai frecvente sînt: amestecul de glicerină și alcool în proporții care depind de climă și de tipul frînei, amestecul de glicerină cu apă în proporția 4/1, amestecul de ulei de ricin cu alcool în proporția 1/2, amestecul de alcool metilic cu apă în proporția 2/1, căruia i se mai adaugă 3% ulei mineral și carbonat de sodiu;

— **l. de răcire,** utilizat în circuitele de răcire ale mașinilor și instalațiilor termice, pentru îndepărtarea unei anumite cantități de căldură dezvoltate de fluidul motor, în scopul menținerii unor temperaturi admisibile de funcționare a pieselor mașinii termice; în marea majoritate a cazurilor, l. de răcire este apa decurizată;

— **l. de ungere,** utilizat în circuitele de ungere ale mașinilor și instalațiilor, în scopul cuplurilor de frecare (ex.: arbore cotit-cuzinești, ax conic-lagăre; cap de cruce-glisieră etc.). **L.** de ungere sînt în general uleiuri minerale (v. U l e i).

LIGNIT. Cărbune brun, rezultat din fenomenul de carbonificare, format în Terțiar, în faza imediat următoare turbificării, din tulpinile, ramurile, rădăcinile și frunzele plantelor mari, ierboase sau arborescente.

Culoarea l. este, în general, galbenă-brună, negricioasă, cu luciu mat (mai rar, sticlos și gras). **L.** are spărtura neregulată, uneori plană, orientată, cu incluziuni cu aspect pămîntos sau negru lucios și o structură lemnoasă foarte pronunțată.

L. este un cărbune brun lemnos (BL), are aspect de fibră lemnoasă cu conținut ridicat de xilită. În R.S.R., zăcăminte de l. se găsesc în bazinul Olteniei: Rovinari, Roșia, Urdari, Motru; în bazinul Munteniei: Schitu Golești, Doicești, Filipeștii de Pădure, Ceptura; în bazinele de Nord: Voievozi, Dorna Tătăruș, Sălaj-Sărmășag; în Banat: Sinersig.

L. este cel mai răspîndit combustibil solid din R.S.R.

Datorită particularităților de formare din punct de vedere geologic, straturile de l. au grosimi variabile și multe intercalații de steril, ceea ce le face greu exploatabile și cu mari variații calitative.

Bazinele carbonifere din țara noastră s-au format în perioada daciană-levantină, cu factori genetici și de diageneză aproape identici.

L., la microscop, apare format dintr-o masă de bază humică (detritus humic) cu structură neomogenă, constituită din particule fine de resturi vegetale foarte slab gelificate (textinite, cutinite, rezinite, sporinite, inertinite etc.), care cimentează în masa lor lentile de xilit (textinit, textoulminit și ulminit), în ordinea descrescătoare a structurii fibrolemnoase, orientate paralel cu stratificația și avînd grosimi variabile între 0,5 și 5 mm.

L. este puternic impurificat cu substanțe minerale (argile, cuarț, feldspat, calcit, dolomit, pirită etc.), acestea prezentîndu-se atît sub formă fin dispersată, cît și sub formă de benzi sau noduli de ordinul centimetrilor.

Compoziția chimică a l. este variabilă, conținînd 60—70% C, 5—6% H, 22—30% O+N, 0,3—0,8% S (sub formă de pirită, sulfați etc.).

Umiditatea de zăcămînt a l. variază de la 30 la 45%, iar cea higroscopică de la 10 la 20%. Cenușa, raportată la cărbunele anhidru, variază în limite largi, de la 7 la 47%.

Se deosebesc:

— **l. pămîntoși,** care conțin 53% acizi humici, dintre care 26% acizi liberi și care se pot bricheta fără aglutinanți;

— **l. propriu-ziși (xilozi),** cu structură lemnoasă, care conțin 6,8% acizi humici și foarte puțini acizi liberi (0,9%).

Distribuția componenților carbopetrografici în fracțiunile granulometrice ale prafului de cărbune provenit de la morile de cărbune indică o concentrare a componenților cu structură fibrolemnoasă (textinit, textoulminit și ulminit) în fracțiunile granulometrice mai mari, iar a sterilului în cele fine, ca la cărbunele brut.

În timpul măcinării, xilitul formează particule mari de praf cu densitate redusă și portanță mare, care pot înfunda separatoarele sau conductele de praf. Xilitul

Caracteristici tehnice și energetice ale ligniților *Tabelul L.7*

Extracția minieră	Simbol	Caracteristici tehnice				Caracteristici energetice					
		W_t^i [%]	A^i [%]	V^{mc} [%]	Q_i^i [kJ/kg]	K_t	K_a	m_c	t_1 [°C]	t_2 [°C]	t_3 [°C]
Horăști	BL	42,2	14,7	60,9	9 922	1,28	2,49	1	1 230	1 380	1 450
Schitu Goleşti	BL	39,9	15,9	59,8	10 070	—	—	0,61	1 195	1 255	1 270
Godeni	BL	37,7	17,6	57,4	10 412	0,9	3,81	0,6	1 180	1 220	1 250
Poenari	BL	34,85	11	59,02	7 431	0,53	2,75	0,42	1 180	1 275	1 305
Filipeştii de Pădure	BL	21,7	9,35	60,6	11 965	0,45	2,84	0,66	1 155	1 235	1 250
Caransebeş	BL	17,6	22,2	—	11 513	1	2,74	0,8	1 160	1 280	1 300
Sărmăşag	BL	38	26,7	52	7 314	0,83	2,52	1,39	1 200	1 310	1 370

gelifiat (doppler) se macină cel mai greu. Totodată, conținutul de xilit conduce la scăderea coeficientului de măcinabilitate.

L. este puternic impurificat cu substanțe minerale, care se prezintă sub formă fin dispersată sau sub formă de benzi cu grosimi de 4—8 cm, particule fine de carbonați și hidroxizi de fier sub 0,1 mm, intercalații de cuarț, feldspat și pirită. Raportul dintre humo-detrinit (Hd) și textinit (T) este de 8—25, valorile reduse corespunzînd **l.** cu conținut ridicat de xilit.

O caracteristică importantă a **l.** este și gradul de diluție (raportul dintre materialul cărbunos: Hd+T, față de conținutul de argilă liberă Al). Acest raport depinde de structura geologică a zăcămîntului, natura intercalațiilor de steril, felul exploatării, valorile acestui raport fiind legate direct de puterea calorifică și compoziția elementară a combustibilului respectiv. Variația în limite largi a acestui raport determină un domeniu larg de variație pentru caracteristicile **l.**, ca și pentru puterea calorifică.

Pentru **l.** din R. S. România, puterea calorifică inferioară variază între 6 085±±519 kJ/kg și 7 826±921 kJ/kg, cu abateri pătratice medii de 942 și, respectiv, 870 kJ/kg. Această dispersie mare a valorilor obligă la adoptarea de soluții de omogenizare pentru depozitele de cărbune.

În general, caracteristicile **l.** din R. S. România sînt următoarele:

— *Granulația:* 0—700;

— Caracteristici tehnice:

$W_t^i = 12{,}13 \ldots 47{,}6\%$;

$A^i = 8{,}04 \ldots 40{,}05\%$;

$V^{mc} = 52 \ldots 67\%$;

$Q_i^i = 7\,314 \ldots 15\,674$ kJ/kg;

— *Coeficientul de măcinabilitate:*

$m_{VTi} = 0{,}43 \ldots 1$;

$m_c = 0{,}55 \ldots 1{,}78$;

— *Temperaturile caracteristice de topire ale cenușilor:*

$t_1 = 1\,130 \ldots 1\,260$ °C;

$t_2 = 1\,240 \ldots 1\,420$ °C;

$t_3 = 1\,250 \ldots 1\,610$ °C;

$t_a = 392 \ldots 460$ °C;

unde: W_t^i — umiditatea totală raportată la starea inițială; A^i — cantitatea de cenușă raportată la starea inițială; V^{mc} — cantitatea de materii volatile raportată la starea combustibilă; Q_i^i — putere calorifică inferioară raportată la starea inițială; t_a — temperatura de autoaprindere:

$$m_{VTi} = 2\left(\ln\frac{100}{R_{0,9}}\right)^{2/3}; \quad m_v = 11{,}8\left(\lg\frac{100}{R_{0,09}}\right);$$

$R_{0,09}$ — restul pe sita de 0,09 mm.

Pentru exemplificare, în tabelul L.7 sînt date caracteristicile tehnice și energetice ale **l.** din diferite extracții miniere. În tabel, K_t este criteriul de intensitate a arderii; K_a — criteriul de aprindere; t_1, t_2, t_3 — temperaturile de înmuiere, topire, curgere.

LIMITĂ (Curbă) (Sin.: **Curbă de saturație**). Locul geometric al punctelor de la începutul și sfîrșitul schimbării de fază a substanțelor pure. De exemplu, în cazul vaporizării unui lichid (Fig. L.31), curba I

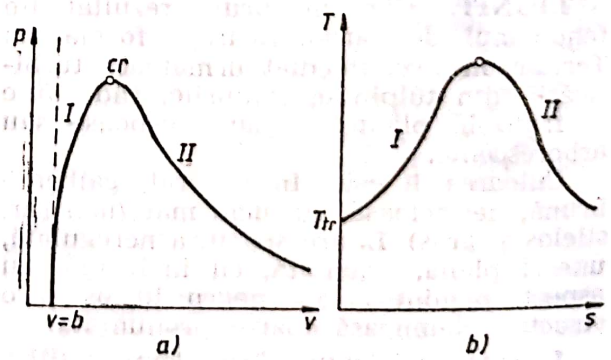


Fig. L.31. Reprezentarea curbelor limită de vaporizare și condensare în diagramele p—v și T—s.

reprezintă locul geometric al punctelor corespunzătoare stării de saturație a lichidului de la începutul vaporizării, iar curba II reprezintă locul geometric al punctelor de la sfîrșitul vaporizării și se numește curba vaporilor saturați uscați.

LIMITĂ DE INFLAMABILITATE. v. Temperatură de inflamabilitate

LINDE (Procedeu). v. Joule-Thomson (Efect); Lichefiere

LINIE DE CÎMP. Pentru un cîmp vectorial $\vec{v}$, este linia care la un moment t fixat, în orice punct al ei, vectorul asociat punctului respectiv este tangent la aceasta (Fig. L.32).

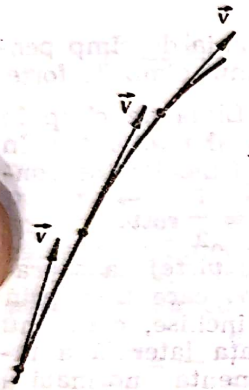


Fig. L.32. Linie de cîmp.

Ecuația diferențială a **l. de c.**, sub forma vectorială este:

$$\vec{v} \times \vec{dr} = 0,$$

în care $\vec{dr}$ este un element în lungul liniei de curent.

Pentru tot cîmpul vectorial este posibil să se construiască o familie de **l. de c.**

În cazul unui cîmp scalar, φ, se introduce linia de cîmp a gradientului cîmpului scalar (de exemplu, gradientul temperaturilor), avînd ecuația:

$$\text{grad } \varphi \times \vec{dr} = 0.$$

LINIE DE CURENT. Linie de cîmp în cazul particular al cîmpului vectorial al vitezelor unui fluid.

Exprimarea analitică a familiei liniei de curent, în sistemul de coordonate carteziene x, y, z, se obține din condiția ca elementul $\vec{dr} = dx \cdot \vec{i} + dy \cdot \vec{j} + dz \cdot \vec{k}$, luat în lungul liniei de curent, cu vectorul viteză $\vec{v} = v_x \cdot \vec{i} + v_y \cdot \vec{j} + v_z \cdot \vec{k}$ să fie paralele între ele: $\vec{dr} = \vec{v} \cdot d\lambda$, λ fiind un parametru scalar, $\lambda = \lambda(L, s)$, în funcție de linia de curent L și de lungimea s a arcului de curbă pe **l. de c.** Ecuațiile diferențiale ale **l. de c.** sînt:

$$\frac{dx}{v_x} = \frac{dy}{v_y} = \frac{dz}{v_z} = d\lambda$$

sau

$$\frac{dx}{d\lambda} = v_x(x, y, z, t); \quad \frac{dy}{d\lambda} = v_y(x, y, z, t);$$

$$\frac{dz}{d\lambda} = v_z(x, y, z, t),$$

în care t este cunoscut.

L. de c. diferă de traiectoria unei particule a mediului fluid, care este dată de ecuațiile diferențiale:

$$\frac{dx}{dt} = v_x(x, y, z, t); \quad \frac{dy}{dt} = v_y(x, y, z, t);$$

$$\frac{dz}{dt} = v_z(x, y, z, t),$$

la care timpul t este o variabilă.

În mișcarea permanentă, deosebirile dintre ecuațiile diferențiale ale liniei de curent și traiectoriei dispar, întrucît t și λ pot fi considerate ca notații diferite ale parametrului de derivare și, deci, **l. de c.** și traiectoria se confundă.

Ecuațiile diferențiale ale **l. de c.** se pot pune sub forma:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v_y}{v_x}; \quad \frac{dz}{dx} = \frac{v_z}{v_x},$$

pentru care se poate pune problema Cauchy de găsire a soluțiilor $y = y(x)$, $z = z(x)$ care pentru x_0 fixat ia valorile y_0 și z_0, adică de găsire a liniei de curent care trece prin punctul de coordonate x_0, y_0, z_0. Problema admite soluție unică, dacă v_x, v_y și v_z sînt funcții continue, cu derivate parțiale de ordinul întîi continue, în raport cu x, y, z, în domeniul mișcării. În general, pentru majoritatea curgerilor, prin orice punct al domeniului trece o linie de curent unic determinată. Totuși condițiile care asigură unicitatea pot să nu fie îndeplinite în anumite puncte și, în aceste puncte, liniile de curent se pot intersecta sau ramifica. Astfel, punctele în care toate componentele vitezei se reduc la zero, sînt puncte singulare ale ecuațiilor diferențiale, numite și *puncte critice*. În figura L.33 sînt schematizate liniile de curent, în secțiune meridiană, a unei curgeri, dată de ciocnirea a două jeturi lichide axial simetrice. În centrul zonei de interacțiune

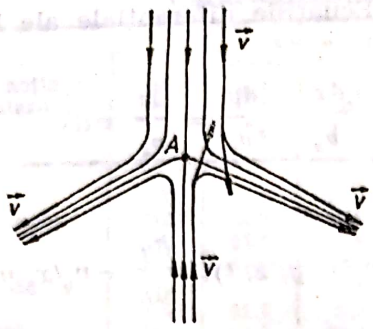


Fig. L.33. Punctul critic A în care viteza este nulă și liniile de curent se ramifică.

se formează un punct critic A de viteză nulă, în care **l. de c.** se ramifică.

Liniile de curent care trec prin punctele unei curbe arbitrare C, care nu este linie de curent, generează o suprafață numită *suprafață de curent*. Ecuația suprafeței de curent, de forma $f(x, y, z)=\text{const}$, se obține din condiția ca normala la suprafață să fie perpendiculară pe vectorul $\vec{v}$:

$$\text{grad } \vec{f}\cdot\vec{v}=0$$

sau

$$v_x\frac{\partial f}{\partial x}+v_y\frac{\partial f}{\partial y}+v_z\frac{\partial f}{\partial z}=0.$$

Dacă curba C este închisă, suprafața de curent formează un *tub de curent*. Fluxul vectorului viteză (debitul volumic) $Q=\int_A \vec{v}d\vec{A}$ este constant în lungul tubului de curent.

Pentru cazul particular al mișcării plane a unui fluid perfect (nevîscos), ecuația liniei de curent este de forma $\psi(x, y)=\text{const}$, în care ψ este *funcția de curent*, introdusă prin relațiile:

$$v_x=\frac{\partial\psi}{\partial y},\qquad v_y=-\frac{\partial\psi}{\partial x},$$

ea fiind dată de ecuația:

$$\Delta\psi=\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial y^2}=\frac{dB(\psi)}{d\psi},$$

unde B poate fi o funcție arbitrară de ψ. Cazul particular al mișcării irotaționale (potențiale) conduce la o ecuație tip Laplace, $\Delta\psi=0$.

Analog, pentru mișcarea axial-simetrică a unui fluid perfect, funcția de curent, în coordonate cilindrice, este definită prin relațiile:

$$v_r=-\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial\psi}{\partial z},\qquad v_z=\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial\psi}{\partial r}$$

și satisface ecuația:

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial r^2}-\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial\psi}{\partial r}=r^2\frac{dB(\psi)}{d\psi}-C(\psi)\frac{dC(\psi)}{d\psi},$$

unde $C=rv\varphi$. În cazul particular al mișcării irotaționale, $B=\text{const.}$ și $C=0$, iar pentru mișcarea elicoidală, $B=\text{const.}$ și $C=\beta\psi$.

LINIE DE FORȚĂ. Linia de cîmp pentru cazul particular al unui cîmp de forțe.

LINIE DE VÎRTEJ. Linia de cîmp în cazul cîmpului vectorial al unui rotor. În particular, în mecanica fluidelor, se consideră vectorul vîrtej $\vec{\omega}=\frac{1}{2}\text{rot}\vec{v}$.

Se definește *tubul de vîrtej* ca suprafața generată de **l. de v.** care trec prin punctele unei curbe C închise, care nu este **l. de v.** Pe suprafața laterală a tubului de vîrtej, componenta normală a vîrtejului este nulă $\omega_n=0$. Intensitatea tubului de vîrtej, definită ca circulația $\Gamma=\oint_c \vec{v}.d\vec{s}$ este constantă în lungul tubului de vîrtej (prima teoremă cinematică a lui Helmholtz). A doua teoremă cinematică a lui Helmholtz afirmă că tuburile de vîrtej sînt fie închise, fie încep și se termină la frontiera domeniului, iar dacă domeniul este nelimitat, la infinit (Fig. L.34).

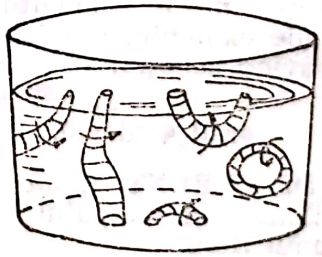


Fig. L.34. Tuburi de vîrtej.

LINIE ENERGETICĂ. Reprezentarea grafică a variației energiei specifice, raportată la unitatea de greutate, a unui fluid în lungul unei linii de curent:

$$e_{sp}=z+\frac{p}{\rho g}+\frac{w^2}{2g}=f(s),$$

unde: z reprezintă cota punctului de pe linia de curent în raport cu un plan de referință arbitrar; p — presiunea și w — viteza în acel punct; s — coordonata curbilinie a punctului (lungimea arcului de curbă pe linia de curent) (Fig. L.35).

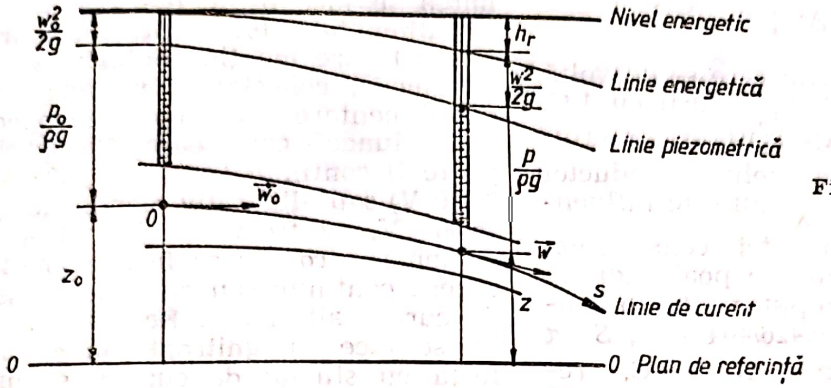


Fig. L.35. Linie energetică și linie piezometrică.

Conform teoremei lui Bernoulli, diferența dintre ordonatele a două puncte de pe l.e. reprezintă pierderea de energie specifică (sarcină) între punctele corespunzătoare ale liniei de curent.

Panta l.e., numită *pantă energetică* sau *pantă hidraulică* este dată de relația:

$$J = -\frac{\mathrm{d}}{\alpha s}\left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{w^2}{2g}\right)$$

și reprezintă pierderea de sarcină pe unitatea de lungime.

LINIE PIEZOMETRICĂ. Reprezentare grafică a variației înălțimii piezometrice $\left(z + \frac{p}{\rho g}\right)$, în lungul liniei de curent.

Panta acesteia, numită *pantă piezometrică*, este dată de relația:

$$I = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}s}\left(z + \frac{p}{\rho g}\right).$$

LIQUIDUS (Linie). v. Limită (Curbă)

LIRĂ DE DILATARE. Dispozitiv mecanic pentru preluarea (compensarea) dilatărilor termice în sistemele de conducte. Conductele care transportă fluide calde trebuie să aibă în funcționare posibilități de dilatare liberă, astfel încît să nu transmită reazemelor eforturi mari. Preluarea dilatării termice a conductelor se poate face prin diverse procedee și dispozitive (prin compensare naturală, realizată prin schimbări de traseu, prin lire de dilatare și prin montarea pe conducte a unor dispozitive speciale, denumite compensatoare de dilatare).

L. de d. pot avea diverse forme geometrice (Fig. L.35 *a*, *b*), între care lră în formă de U cu brațe egale sau inegale, lră în formă de Ω etc. Posibilitatea unei lire de dilatare de a prelua dilatările termice ale unui traseu de conductă se bazează pe capacitatea porțiunilor curbe de conductă (coturi) de a se deforma elastic.

O **l. de d.** asigură compensarea dilatării termice între două reazeme fixe (Fig. L.36 *c*), dilatare calculată cu relația:

$$\Delta l = l_0 \alpha \Delta t \quad [\mathrm{m}],$$

unde l_0 este lungimea conductei între reazemele fixe [m]; α — coeficientul de dilatare termică liniară [m/m.°C]; Δt — diferența de temperatură între condițiile de funcționare și de montaj [°C]. În general, pentru oțeluri de diverse calități $\alpha = (10 \ldots 18)\ 10^{-6}$ m/m °C, între 20°C și 600°C, α crescînd cu creșterea temperaturii. De exemplu, o conductă de termoficare pentru care $l_0 = 100$ m, $\alpha = 12.10^{-6}$ m/m °C și $\Delta t = 150$°C, are o dilatare termică liniară $\Delta l = 100.12.10^{-6}.150 = 0{,}18$ m = 180 mm, care trebuie preluată de **l. de d.**, prin deformarea elastică a acesteia.

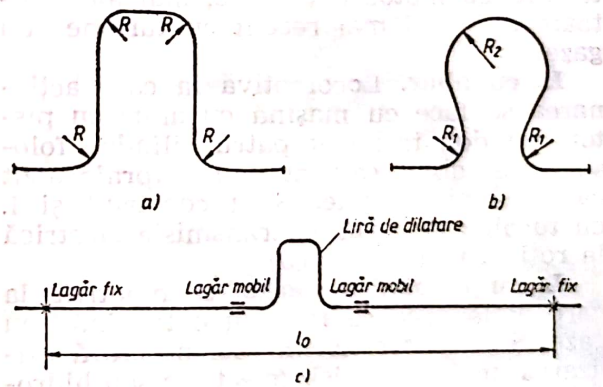


Fig. L.36. Lră de dilatare:
a — în formă de U; *b* — în formă de Ω; *c* — montarea pe conductă.

Dacă nu se prevede **l. de d.** sau alt dispozitiv sau procedeu de compensare a

dilatării termice, dilatarea termică este împiedicată, în peretele conductei apar solicitări mecanice suplimentare, care se transmit reazemelor fixe. Astfel, forța care acționează într-o conductă încastrată la ambele capete, la o diferență de temperatură Δt [°C], este:

$$P_{\Delta t} = \sigma_1 S \Delta t \ [N],$$

unde σ_1 reprezintă efortul care se dezvoltă în perete la variația temperaturii cu 1°C, în N/cm², iar $S=\pi(d_e^2-d_i^2)/4$ este secțiunea transversală a peretelui conductei [cm²]. Mărimea forței $P_{\Delta t}$ nu este influențată de lungimea conductei considerate. Pentru conducte din oțel se poate admite $\sigma_1=250$ N/cm². De exemplu, pentru o conductă la care $d_e/d_i=426/404$ mm, $S=\pi(42{,}6^2-40{,}4^2)/4=143{,}4$ cm², $\Delta t=150$°C, rezultă: $P_{\Delta t}=250.143{,}4.150=5{,}38.10^6$ N=5,38 MN, ceea ce reprezintă o forță care poate distruge reazemul fix sau conducta.

LOCOMOTIVĂ. Vehicul motor cu roți pentru tracțiunea pe calea ferată. Primele **l.** au fost vehicule acționate de mașini (motoare) cu abur. După circa 100 de ani de răspîndire aproape pe tot globul a **l.** cu abur, s-a trecut și la construcția cu alte moduri de acționare (electric, pneumatic sau cu motoare termice, mai ales motoare diesel și mai recent cu turbine cu gaze).

L. cu abur. Locomotivă la care acționarea se face cu mașină cu abur cu piston, cu doi, trei sau patru cilindri, folosindu-se abur saturat sau supraîncălzit cu presiuni ridicate. S-au construit și **l.** cu turbină cu abur și transmisie electrică la roți (**l.** turboelectrică).

L. cu turbină cu gaze. Locomotivă la care acționarea se face cu o turbină cu gaze. Și la acest sistem este necesară utilizarea unei transmisii (electrice sau hidrodinamice).

L. diesel. Locomotivă la care acționarea se face cu un motor termic de tip diesel, fiind astfel dependentă numai de rețeaua liniilor de cale ferată ca și **l.** cu abur. Acționarea roților se realizează cu ajutorul unor transmisii, deoarece motorul diesel trebuie pornit mai întîi fără sarcină (în gol, contrar mașinii cu abur), iar cuplul lui trebuie adaptat. Sistemele de transmisii folosite sînt transmisiile mecanice, pneumatice, hidraulice și electrice, deosebind astfel locomotivele diesel-mecanice (DM), diesel pneumatice (DP), diesel-hidraulice (DH) și diesel-electrice (DE). **L.** DM se construiesc numai pentru puteri mici; **l.** DP se utilizează numai pentru situații speciale (medii explozive sau care nu admit poluarea); **l.** DH pentru puteri mici și mijlocii și cele DE pentru puterile mijlocii și mari. La **l.** DH se folosesc transmisii hidrostatice și hidrodinamice; la **l.** DE, transmisii în curent continuu sau alternativ.

L. electrică. Locomotivă la care acționarea se face printr-o transmisie electrică, alimentată din afară cu ajutorul unor troleuri care mențin contactul cu un fir (catenară), conectat la rețeaua electrică de alimentare sau cu o șină specială pe care alunecă captatoare. Curentul folosit poate fi continuu (de la cca 500 V la cca 3 000 V) sau alternativ monofazic pînă la 25 000 V, cu frecvențe de obicei 50 Hz. Acționarea roților se face cu motoare de curent continuu sau cu motoare asincrone de curent alternativ. Redresarea curentului se face cu ignitroni sau cu diode de forță cu siliciu; de curînd, se utilizează direct curent alternativ trifazic, transformat ca frecvență și tensiune prin sisteme electronice la valorile necesare tracțiunii (frecvență și tensiune foarte reduse la demaraj).

LOCOMOTOR. Denumire utilizată uneori pentru locomotive diesel de putere foarte mică (pînă la cca 150 CP). **L.** sînt folosite, în special, la servicii de manevră.

LOCOTRACTOR. Denumire utilizată uneori pentru locomotive diesel de putere redusă (200—300 CP). **L.** sînt folosite la servicii de manevră.

LOMONOSOV, Mihail Vasilievici. Chimist rus (1711—1765). În 1750, a publicat teza „Căldura constă din mișcarea internă a materiei". A enunțat în 1756, pentru prima oară, că trebuie să existe o egalitate între substanțele intrate și cele ieșite din reacție, ca *principiu al conservării materiei*. A elaborat un model interesant pentru explicarea elasticității gazelor.

LUCRU MECANIC. Mărime mecanică scalară ce exprimă măsura schimbului de energie pe calea interacțiunii mecanice reciproce între corpuri sau între sisteme de corpuri și mediul ambiant. Dacă interacțiunea mecanică este de neechilibru infinitezimal, schimbul energetic sub formă de **l.m.** se desfășoară ireversibil, iar dacă este de neechilibru finit, schimbul energetic corespunzător are loc ireversibil. Ca și căldura, **l.m.** este o mărime ce depinde de modul în care se desfășoară interacțiunile, deci nu este o mărime de stare. **L.m.** reprezintă o formă de transmitere a energiei între sisteme, durata lui de existență limitîndu-se la timpul cît durează procesul respectiv, după care el se transformă în energie ce se adaugă sau se scade din energia sis-

Scanned with OKEN Scanner

temului. În termodinamica tehnică, **l.m.** primit de un sistem se consideră negativ, iar cel cedat de sistem este pozitiv, spre deosebire de termodinamica chimică și fizică, unde **l.m.** primit este pozitiv (se consideră că o formă de energie intră prin intermediul lui în sistem).

În studiile termotehnice, interesează în special următoarele schimburi de energie sub formă de **l.m.**:

— **l.m.** al variației de volum sau absolut;

— **l.m.** de dislocare sau de deplasare;

— **l.m.** tehnic sau **l.m.** util exterior.

Prima formă de **l.m.** este specifică proceselor din sistemele termodinamice închise (sisteme ce au numai schimburi de energie), iar celelalte două forme, sistemelor termodinamice deschise (sisteme care schimbă atît energie, cît și substanță). În sistemul de unități internaționale (SI), **l.m.** se măsoară în Joule [J].

L.m. al variației de volum sau **absolut** exprimă schimbul de energie mecanică prin acțiunea forțelor de presiune asupra suprafeței deformabile a sistemului termodinamic. În cazul unui sistem fizic macroscopic a cărui suprafață S devine S', în urma unei deformații elementare (Fig. L.37), **l.m.** efectuat de forțele ele-

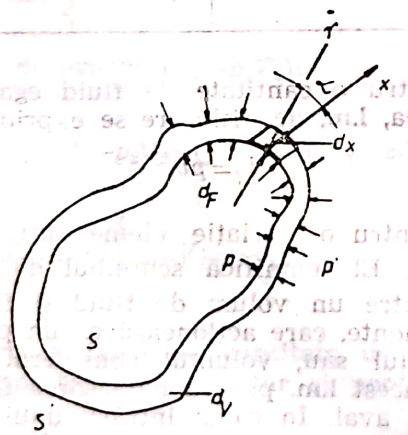


Fig. L.37

mentare $dF=pds$ la deplasarea întregii suprafețe va fi:

$$\delta L=pdV,$$

unde, cu aproximația unor infiniți mici de ordin superior, $dV=\int_S \cdot dS \cdot dx \cos\alpha$, iar presiunea p este considerată constantă în întregul volum și egală cu presiunea exterioară p'.

Într-o transformare finită, cvasistatică, **l.m.** schimbat de sistem între o stare inițială *1* ($p_1V_1T_1$) și o stare finală *2* ($p_2V_2T_2$) se calculează cu expresia:

$$L_{12}=\int_1^2 \delta_L=\int_1^2 pdV.$$

În cazul sistemelor omogene, pentru unitatea de cantitate de substanță, **l.m.** elementar și **l.m.** într-o transformare finită, se exprimă prin relațiile:

$$\delta_l=p_2dv$$

$$l_{12}=\int_1^2 pdv,$$

unde v reprezintă volumul specific.

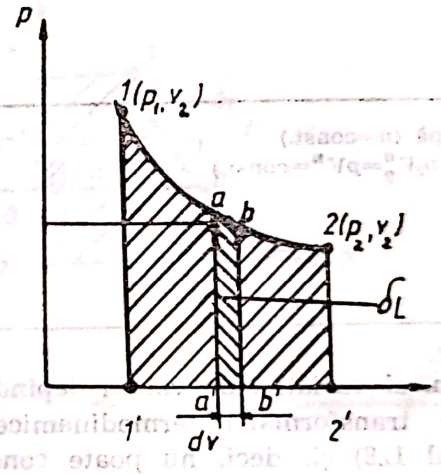


Fig. L.38

L.m. este condiționat de legea de variație a presiunii în funcție de volum, adică de relația $p=f(v)$. Astfel, în procesele izocore (volumul se menține constant) **l.m.** este nul, în procesele de destindere ($dV>0$), **l.m.** este pozitiv, iar în procesele de comprimare ($dV<0$), **l.m.** este negativ. Dacă se poate reprezenta transformarea termodinamică a sistemului în diagrama mecanică p—V, **l.m.** schimbat de sistem în cursul transformării este dat de suprafața de sub curba 1—2 și axa volumului (Fig. L.38):

$$|L_{12}|=\int_2^1 |pdV|=$$

$$=\int_2^1 aria\ a\ b\ b'\ a'=aria\ 1\ 2\ 2'\ 1'.$$

Tabelul L.8

Lucrul mecanic al variației de volum și lucrul mecanic tehnic în cazul transformării reversibile simple de stare a gazelor perfecte

Transformarea	Lucrul mecanic al variației de volum	Lucrul mecanic tehnic
Izocoră ($dV=0$; $V_1=V_2=V=\text{const.}$)	$l_{12}=0$ $l_{12}=0$	$l_{t_{12}}=v(p_1-p_2)$ $L_{t_{12}}=V(p_1-p_2)$
Izobară ($dp=0$; $p_1=p_2=p=\text{const.}$)	$l_{12}=p(v_2-v_1)$ $L_{12}=p(V_2-V_1)$	$l_{t_{12}}=0$ $L_{t_{12}}=0$
Izotermă ($dT=0$; $T_1=T_2=T=\text{const.}$)	$l_{12}=RT\ \ln(p_1/p_2)$ $L_{12}=mRT\ \ln(p_1/p_2)$	$l_{t_{12}}=l_{12}$ $L_{t_{12}}=L_{12}$
Adiabatică ($dQ_{12}=0$; $p_1V_1^k=p_2V_2^k=pV^k=\text{const.}$)	$l_{12}=\frac{p_1v_1-p_2v_2}{k-1}=\frac{R(T_1-T_2)}{k-1}=$ $=\frac{p_1v_1}{k-1}\left[1-\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]$ $L_{12}=ml_{12}$	$l_{t_{12}}=kl_{12}$ $L_{t_{12}}=kL_{12}$
Politropă ($n=\text{const.}$) ($p_1V_1^n=p_2V_2^n=pV^n=\text{const.}$)	$l_{12}=\frac{p_1v_1-p_2v_2}{n-1}=\frac{R(T_1-T_2)}{n-1}=$ $=\frac{p_1v_1}{n-1}\left[1-\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right]$ $L_{12}=ml_{12}$	$l_{t_{12}}=nl_{12}$ $L_{t_{12}}=nL_{12}$

L.m. al variației de volum depinde de natura transformării termodinamice (v. Tabelul L.8) și, deci, nu poate constitui o mărime de stare.

L.m. de dislocare reprezintă l.m. necesar pentru deplasarea unui volum de fluid (V) într-un proces de curgere, între două poziții succesive, în condiții de presiune constantă p (Fig. L.39). Se mai numește și l.m. de deplasare sau de curgere a fluidului și se calculează cu relația:

$$L_d=pV.$$

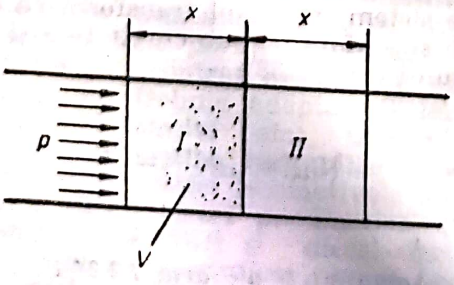


Fig. L.39

Pentru o cantitate de fluid egală cu unitatea, l.m. de dislocare se exprimă:

$$l_d=pv,$$

sau pentru o variație elementară: $\delta l_d=\mathrm{d}(pv)$. El semnifică schimbul de energie dintre un volum de fluid și fluidul din amonte, care acționează ca un piston; la rîndul său, volumul considerat consumă acest l.m. pentru deplasarea fluidului din aval. În cazul intrării unui fluid într-un spațiu de lucru sub presiune constantă, l.m. de dislocare contribuie la mărirea energiei fluidului din spațiul respectiv. L.m. de dislocare se consideră pozitiv la intrarea fluidului în sistem și negativ, la evacuarea fluidului din sistem.

L.m. de dislocare este o cvasimărime de stare, deoarece este determinat numai de mărimile de stare de la intrare și ieșire și nu este influențat de drumul parcurs de agent prin sistem.

L.m. tehnic reprezintă schimbul total de energie realizat pe calea interacțiunii mecanice de un sistem termodinamic deschis, în cursul unei transformări de stare.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul unui agent termic ce este admis într-o mașină termică și suferă o transformare termodinamică, în urma căreia ajunge din starea 1 (p_1,V_1,T_1) în starea 2 (p_2,V_2T_2), după care este evacuat,

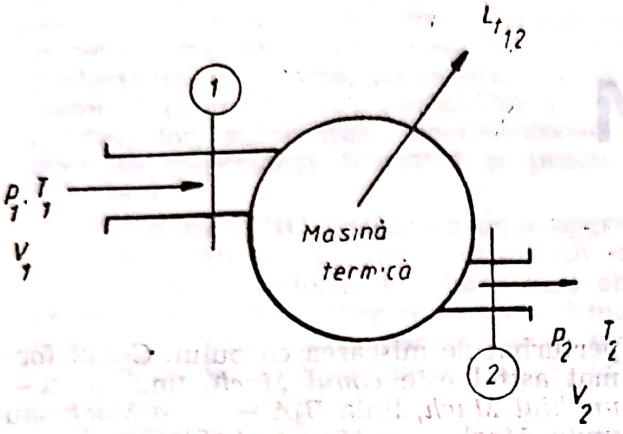


Fig. L.40

(Fig. L.40), **l.m. tehnic** (**l.m. total**) pe care îl dezvoltă agentul termic în mașina termică se calculează prin însumarea **l.m.** al variației de volum în cursul transformării ($L_{12}=\int_1^2 pdV$) și **l.m.** de admisie (p_1V_1) și de evacuare ($-p_2V_2$):

$$L_{t\,12}=L_{12}+p_1V_1-p_2V_2=\int_1^2 pdV-(p_2V_2-p_1V_1)=$$

$$=\int_1^2 pdV-\int_1^2 d(pV)=-\int_1^2 Vdp.$$

Pentru unitatea de cantitate de substanță **l.m.** tehnic elementar și pentru o transformare finită 1—2 se exprimă sub forma:

$$\delta l_t=-vdp;$$

$$l_{t_{12}}=\int_1^2 \delta l_t=-\int_1^2 vdp,$$

unde v este volumul specific.

Dacă se reprezintă grafic în diagrama p—V transformarea de stare 1—2 pe care o suferă agentul termic în mașină, **l.m.** tehnic este reprezentat de aria cuprinsă între curbă și axa presiunii (Fig. L.41):

$$|Lt_{12}|=\int_1^2 |Vdp|=\int_1^2 aria\ a\,b\,b''\,a''=$$

$$=aria\ 1\,2\,2''\,1''.$$

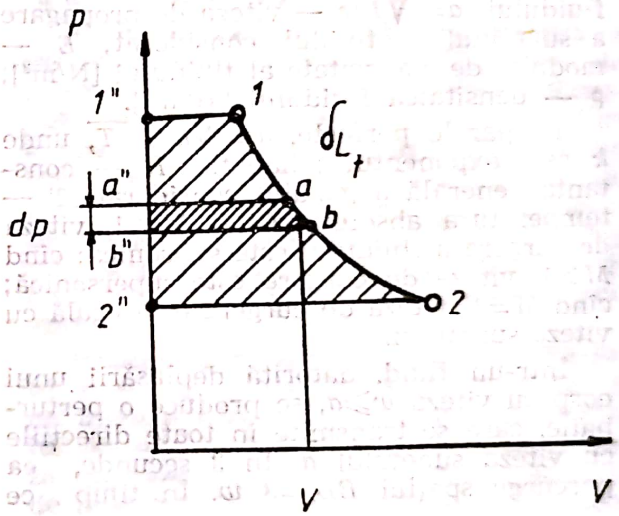


Fig. L.41

L.m. tehnic depinde de natura transformării termodinamice (v. Tabelul L.8) și, deci, nu constituie o mărime de stare.

L.m. maxim v. Exergie.

LÜNGSTRÖM (Turbină). v. Turbină cu abur

În cazul unui agent termic ce este admis într-o mașină termică și suferă o transformare termodinamică, în urma căreia ajunge din starea 1 (p_1,V_1,T_1) în starea 2 (p_2,V_2T_2), după care este evacuat,

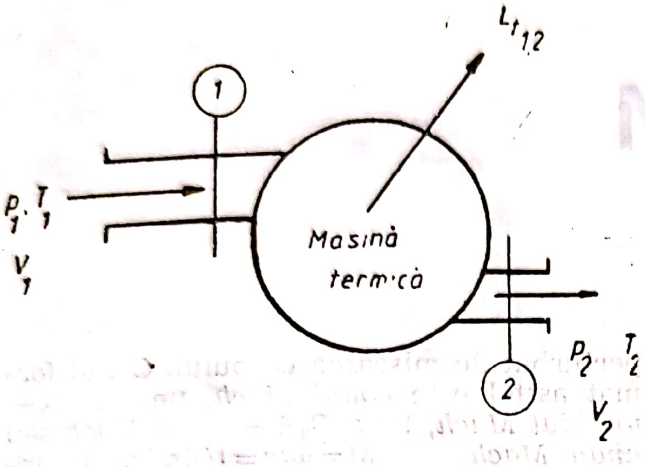


Fig. L.40

(Fig. L.40), **l.m. tehnic** (**l.m.** total) pe care îl dezvoltă agentul termic în mașina termică se calculează prin însumarea **l.m.** al variației de volum în cursul transformării ($L_{12}=\int_1^2 pdV$) și **l.m.** de admisie (p_1V_1) și de evacuare ($-p_2V_2$):

$$L_{t\,12}=L_{12}+p_1V_1-p_2V_2=\int_1^2 pdV-(p_2V_2-p_1V_1)=$$

$$=\int_1^2 pdV-\int_1^2 d(pV)=-\int_1^2 Vdp.$$

Pentru unitatea de cantitate de substanță **l.m.** tehnic elementar și pentru o transformare finită 1—2 se exprimă sub forma:

$$\delta l_t=-vdp;$$

$$l_{t_{12}}=\int_1^2 \delta l_t=-\int_1^2 vdp,$$

unde v este volumul specific.

Dacă se reprezintă grafic în diagrama p—V transformarea de stare 1—2 pe care o suferă agentul termic în mașină, **l.m.** tehnic este reprezentat de aria cuprinsă între curbă și axa presiunii (Fig. L.41):

$$|Lt_{12}|=\int_1^2 |Vdp|=\int_1^2 aria\ a\,b\,b''\,a''=$$

$$=aria\ 1\,2\,2''\,1''.$$

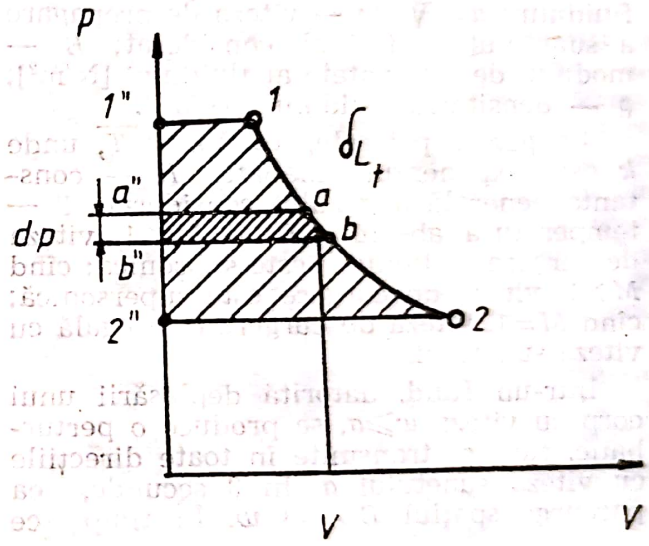


Fig. L.41

L.m. tehnic depinde de natura transformării termodinamice (v. Tabelul L.8) și, deci, nu constituie o mărime de stare.

L.m. maxim v. Exergie.

LÜNGSTRÖM (Turbină). v. Turbină cu abur

M

MACH (Număr). Raport adimensional $M=w/a$, unde: w este viteza de curgere a fluidului; $a=\sqrt{E/\rho}$ — viteza de propagare a sunetului în fluidul considerat; E — modulul de elasticitate al fluidului [N/m²]; ρ — densitatea fluidului [kg/m³].

La gazele perfecte, $a=\sqrt{k\ R\ T}$, unde k este exponentul adiabatic, R — constanta generală a gazului considerat; T — temperatura absolută. Cînd $M<1$, viteza de curgere a fluidului este subsonică; cînd $M>1$, viteza de curgere este supersonică; cînd $M=1$, viteza de curgere este egală cu viteza sunetului.

Într-un fluid, datorită deplasării unui corp cu viteza $w\geqslant a$, se produce o perturbație, care se transmite în toate direcțiile cu viteza sunetului a. În 3 secunde, ea parcurge spațiul $BB_3=3\ w$. În timp ce

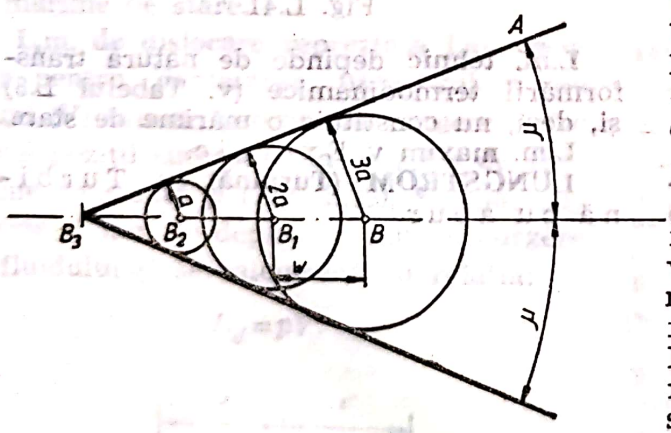


Fig. M.1. Conul lui Mach; unghiul Mach.

perturbația parcurge spațiul BB_3, unda sferică atinge raza $3a$ (Fig. M.1). În 3 secunde, cînd corpul parcurge spațiul $BB_3=w$, unda sferică parcurge raza a. Spațiul din interiorul conului, avînd vîrful B_3 și unghiul la vîrf μ ($\sin\mu=a/w$) este acum perturbat de mișcarea corpului. Conul format astfel este *conul Mach*, unghiul μ — *unghiul Mach*, linia B_3A — *linia Mach* sau *unda Mach*, iar $M=w/a=1/\sin\mu$. În interiorul conului Mach, spațiul este perturbat de mișcarea corpului, iar în exteriorul conului Mach, spațiul este în repaus, definind astfel curgerea supersonică, cu $w\geqslant a$.

MACH MAGNETIC (Număr). Criteriu folosit la studiul plasmei și notat cu M_m. El reprezintă raportul dintre presiunea dinamică și presiunea magnetică ($M_m=p_d/p_m$, în care $p_d=\rho\ w^2/2$ este presiunea dinamică a plasmei [N/m²]; ρ — densitatea ei [kg/m³]; w — viteza de deplasare [m/s]; $p_m=H^2/(8\pi)$ este presiunea magnetică [N/m²]; H — intensitatea cîmpului magnetic [A/m]. Numărul Mach magnetic se poate exprima și prin raportul dintre viteza locală a mediului w și viteza de propagare a undelor în lungul liniilor de forță magnetice w_A (undele magnetohidrodinamice în plasmă sau *undele lui Alfven*), adică $M_m=w/w_A$.

MACROMOLECULĂ. Moleculă de dimensiuni mari a cărei masă moleculară variază de la cîteva zeci de mii la cîteva milioane. **M.** este alcătuită dintr-un număr foarte mare de atomi, legați între ei prin legături covalente. În structura tuturor moleculelor se găsesc anumite unități care se repetă de sute sau mii de ori, numite *unități structurale* sau *unități monomere*.

După forma geometrică, **m.** se împart în **m. liniare, m. ramificate** și **m. reticulate** sau tridimensionale. Proprietăți ca: solubilitatea, elasticitatea, comportarea la încălzire, rezistența mecanică etc. sînt determinate de dimensiunea și structura **m. M.** se întîlnesc atît în lumea organică, alcătuind țesuturi animale și vegetale (proteine, acizi nucleici, celuloză, amidon,

cauciuc), cît și în lumea anorganică (diamant, grafit, cuarț, mică, rubin, safir, azbest etc.). O importanță crescîndă cunosc polimerii sintetici, obținuți din monomeri prin reacții de polimerizare (polietilenă, policlorură de vinil, polistiren, cauciucuri sintetice) sau de policondensare (policaprolactamă, poliamide, poliesteri, siliconi). Datorită proprietăților, utilizărilor și răspîndirii lor, substanțele macromoleculare prezintă importanță teoretică și practică deosebită.

MACROSCOPIC. Calitate a unor operații, proprietăți, relații sau considerații de a avea sau nu referiri la dimensiuni observabile cu ochiul liber (ex.: metodă macroscopică; examinare macroscopică; teorie macroscopică; lege macroscopică; mărime macroscopică).

MAGNETOU. Componentă a sistemului de aprindere a unui motor cu ardere internă. Fiabilitatea ridicată îl recomandă utilizării și la motoarele cu ardere internă la care nu se poate asigura pornirea cu un acumulator.

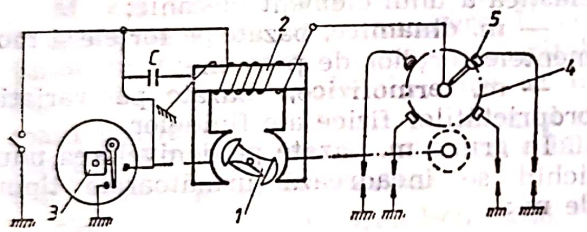


Fig. M.2. Magnetou:
1 — rotor; *2* — bobină de inducție; *3* — camă întrerupător; *4* — distribuitor; *5* — plot de distribuție.

Constructiv, **m.** se compune (Fig. M.2) dintr-un generator sincron monofazat, avînd rotorul un magnet permanent (*1*), cu rol de inductor, iar statorul (indusul) o bobină de inducție (*2*). Rotorul generatorului este în circuit cu cama unui întrerupător (*3*) și cu rotorul unui distribuitor (*4*). Un motor auxiliar antrenează, prin intermediul unui cuplaj, un ax comun rotorului generatorului, camei întrerupătorului și rotorului, distribuitorului. Rotorul generatorului (magnet permanent) produce un flux magnetic variabil în miezul bobinei (statorul), inducînd astfel o tensiune electromotoare în înfășurarea acesteia. Cît timp contactele întrerupătorului cu camă (*3*) sînt închise, prin înfășurarea primară trece un curent de scurtcircuit care produce un flux de reacție al indusului. La o anumită valoare maximă a curentului primar, dată de *unghiul de rupere*, contactele întrerupătorului cu camă se deschid și curentul se întrerupe. Se produc tensiuni mari în înfășurările bobinei, datorită variației bruște a fluxului produs de inductor și indus. Cînd se deschid contactele întrerupătorului cu camă, rotorul distribuitorului se află în dreptul unui plot (*5*) al capacului distribuitor, înalta tensiune secundară fiind transmisă la bujie. În paralel cu contactele întrerupătorului, este montat un condensator (*C*) cu rolul de a înmagazina energia dezvoltată de arcul electric produs de deschiderea contactelor; el contribuie la mărirea tensiunii secundare și la micșorarea uzurii contactelor.

După modul de producere a variației fluxului magnetic, se deosebesc: **m. cu magnet permanent în rotor, m. cu indus rotitor și m. cu comutatoare magnetice.** După poziția rotorului, există **m.** cu axul rotorului orizontal sau vertical.

MANOMETRU. Aparat de măsură a presiunii unui fluid sau a diferenței de presiune dintre două fluide (**m.** diferențial). Măsurarea presiunii se poate face în fluide în repaus **(m. hidrostatic)** sau în fluide în mișcare **(m. hidrodinamic);** în acest ultim caz, măsurarea se poate efectua pe pereții conductei sau în puncte din interiorul fluidului. Captarea presiunii se face prin orificii, numite *prize de presiune.*

Pentru măsurarea presiunii la fluidele în repaus, priza de presiune poate fi un orificiu realizat în peretele rezervorului ce conține fluidul la care se racordează aparatul de măsură printr-o conductă de legătură. Secțiunea orificiului și a conductei de legătură trebuie să fie suficient de mare pentru ca acestea să nu se obtureze cu bule de aer (în cazul măsurării presiunii în lichide) sau cu impurități solide, precum și pentru a se evita influența tensiunilor superficiale.

Pentru măsurarea presiunii la fluidele în mișcare prin conducte sau canale, condițiile de realizare a prizelor de presiune sînt mai pretențioase, întrucît atît forma, cît și poziția acestora influențează asupra indicațiilor aparatului de măsură. În acest sens, se recomandă orientarea prizei cu axa perpendiculară pe suprafața peretelui interior al conductei, iar diametrul orificiului să fie de 3—8 mm, fără a depăși însă grosimea peretelui conductei. Dacă peretele este prea subțire, pe el se sudează o placă suplimentară, care se găurește împreună cu acesta, sau se prelungește orificiul cu un tub scurt, sudat de perete. Orificiul nu trebuie să fie prea mare, deoarece prin frînarea parțială a curentului de fluid s-ar transmite prizei, pe lîngă presiunea statică, și o parte din presiunea dinamică. De asemenea, priza de presiune se plasează în secțiunile în care

mișcarea fluidului are loc fără turbulențe artificiale, recomandîndu-se distanțe liniare de conductă atît în aval, cît și în amonte de priza de măsură.

Măsurarea presiunii în conducte se poate face cu o singură priză sau, mai precis, cu mai multe prize, dispuse în aceeași secțiune. Orificiile de priză, circulare sau sub formă de fante sînt legate la o cameră inelară de egalizare, la care se racordează aparatul de măsură a presiunii.

Conducta de legătură dintre priză și aparatul de măsură trebuie să fie etanșă și scurtă. La fluide cu temperaturi diferite de cele ale mediului ambiant, conductele trebuie să fie izolate termic.

Pentru transmiterea presiunii la distanțe mari se recomandă transmisia electrică.

Pentru măsurarea presiunii fluidelor în mișcare, prizele de presiune introduse în conductă trebuie să perturbe cît mai puțin curgerea și să fie orientate cu axul perpendicular pe liniile de curent. În acest sens, cele mai cunoscute dispozitive sînt:

Sonda de presiune statică Prandtl, formată dintr-un corp cilindric, introdus în conductă, cu axul paralel cu liniile de curent și prevăzut cu un cap sferic, prizele de presiune fiind plasate pe cilindru, la o anumită distanță de capul sferic; în cazul sondei pentru măsurări în gaze în regim transsonic și supersonic, capul sferic se înlocuiește cu un cap conic sau ogival ascuțit.

Șaiba de presiune, constituită dintr-un disc circular prevăzut în centru cu priză de presiune și continuată cu un tub rigid de legătură, introducîndu-se în conductă paralel cu liniile de curent.

În interiorul fluidelor în mișcare se poate măsura și *presiunea totală*, incluzînd așa-numita presiune dinamică, egală cu $\rho w^2/2$, în care w este viteza fluidului de densitate ρ, în punctul de măsură. Pentru măsurarea presiunii totale se folosesc *șaibele de presiune Ser*, care sînt șaibe de presiune orientate normal la liniile de curent, sau *sondele de presiune totală*, care sînt tuburi îndoite, orientate în sens invers curgerii, pe direcția liniilor de curent. O perfecționare a acestora o constituie sondele cilindrice cu capete sferice sau conice, cu orificii în vîrf. Variante ale sondelor de presiune totală sînt: *sonda Kiel*, la care tubul îndoit este situat într-un tub convergent, ceea ce mărește precizia de măsurare a presiunii totale chiar cînd în curent au loc mișcări turbionare cu unghiuri de pînă la 50° cu axa tubului; *sonda Dines*, formată dintr-o sferă goală, cu mai multe prize de presiune pe suprafața ei.

În general, aparatele măsoară presiunea relativă a fluidelor, presiunea atmosferică, de referință, măsurîndu-se cu un barometru.

Aparatul cu care se măsoară depresiunile într-un fluid este denumit *vacuummetru*, iar în cazul în care măsoară atît suprapresiunea, cît și depresiunea el se numește *manovacuummetru*. Dacă se măsoară diferențe de presiune, el se numește **m.** *diferențial*.

Din punctul de vedere metrologic, **m.** pot fi: **m.** *etalon*, servind la reproducerea și păstrarea unităților de măsură a presiunii, **m.** *model*, pentru verificarea manometrelor de lucru și m. *de lucru*, pentru măsurări curente ale presiunii.

Principalul criteriu de clasificare a **m.** este după principiul de măsurare a presiunii, din acest punct de vedere ele încadrîndu-se în următoarele grupe:

— **m. cu lichid**, bazate pe denivelarea unui lichid;

— **m. metalice**, bazate pe deformația elastică a unui element mecanic;

— **m. dinamice**, bazate pe forțele și momentele forțelor de presiune;

— **m. termofizice**, bazate pe variația proprietăților fizice ale fluidelor.

În grupa **m.** bazate pe denivelarea unui lichid se încadrează următoarele tipuri de **m.**:

Tubul piezometric (Fig. M.3), folosit pentru a măsura suprapresiuni în

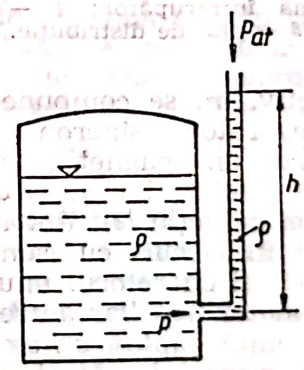


Fig. M.3. Tubul piezometric.

lichide, cu valori relativ mici, constînd dintr-un tub vertical transparent, de obicei din sticlă, racordat cu partea inferioară la priza de presiune a unui rezervor sau a unei conducte, la partea superioară fiind deschis. Lichidul folosit în piezometru este chiar lichidul a cărui presiune se măsoară, avînd densitatea ρ. Relația de calcul a suprapresiunii este:

$$p - p_{at} = \rho g h,$$

în care h este diferența de nivel între suprafața liberă a lichidului în tubul piezometric și priza de presiune. Diametrul interior al tubului trebuie să fie cît mai mare pentru a reduce influența capilarității (pentru apă se recomandă diametrul minim de 10 mm);

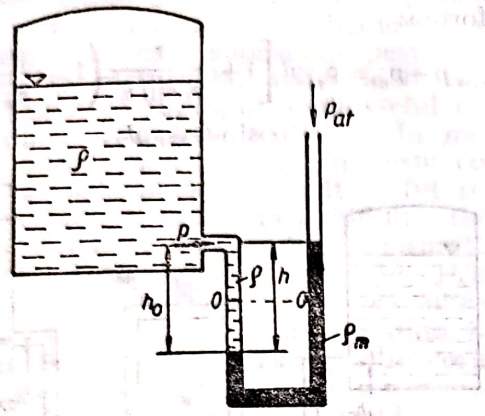


Fig. M.4. Manometru cu tub U.

M. cu tub U (Fig. M.4), format dintr-un tub de sticlă în forma literei U, conținînd un lichid manometric cu densitatea ρ_m, imiscibil cu fluidul în care se măsoară presiunea, de densitate ρ; unul din capetele tubului este deschis, iar celălalt este legat la priza de presiune.

Notînd cu h denivelarea lichidului manometric dintre cele două ramuri ale tubului, reperul zero al manometrului (la care este lichidul în cele două ramuri pentru aparatul neconectat) fiind la nivelul h_0 sub priza de presiune, relația de calcul a suprapresiunii este:

$$p-p_{at}=\left(\rho_m-\frac{\rho}{2}\right)gh-\rho gh_0.$$

Aparatul se poate folosi și pentru măsurarea depresiunilor, în acest caz relația de calcul fiind:

$$p_{at}-p=\left(\rho_m-\frac{\rho}{2}\right)gh+\rho gh_0.$$

Lichidele manometrice folosite uzual sînt mercurul, apa, alcoolul sau toluenul, în funcție de ordinul de mărime al presiunilor de măsurat.

Aparatul are avantajul preciziei măsurătorilor, iar ca dezavantaje: domeniu redus de măsură, citire dificilă, fragilitate, imposibilitatea transmiterii la distanță a indicațiilor.

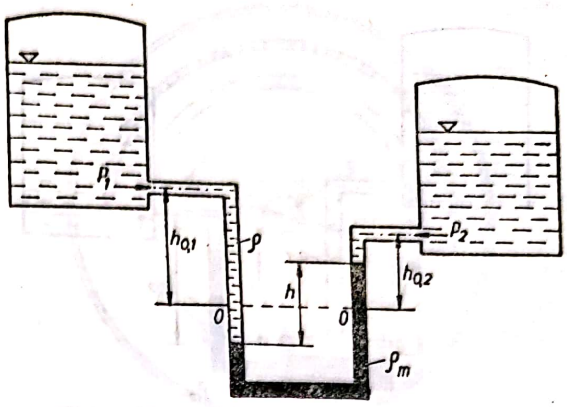


Fig. M.5. Manometru diferențial cu tub U.

Poate fi utilizat și ca **m.** diferențial (Fig. M.5), cele două capete fiind racordate la prizele de presiune între care se măsoară diferența. Relația de calcul a diferenței de presiune este:

$$p_1-p_2=(\rho_m-\rho)gh-\rho g(h_{0,1}-h_{0,2}),$$

în care $h_{0,1}$ și $h_{0,2}$ reprezintă poziția reperului zero al **m.** sub cotele celor două prize de presiune;

M. cu o singură ramură (Fig. M.6), format dintr-un rezervor care conține lichidul manometric, la care este legat un tub vertical, deschis la partea superioară. Priza de presiune se racordează la rezervor. Relația de calcul a suprapresiunii, în funcție de supraînălțarea h a lichidului manometric în tub, este:

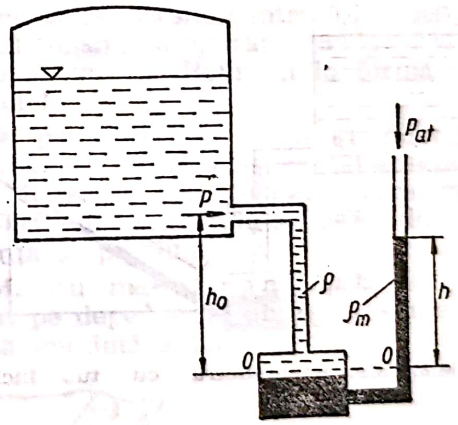


Fig. M.6. Manometru cu o singură ramură.

$$p-p_{at}=\left(1+\frac{s}{S}\right)\left(1-\frac{\rho}{\rho_m}\right)\rho_m gh-\rho gh_0,$$

în care s este secțiunea tubului, iar S — secțiunea rezervorului, manometrul fiind plasat cu reperul zero la cota h_0 sub priza de presiune.

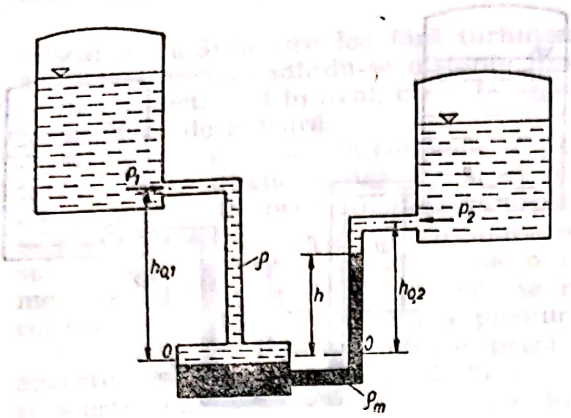


Fig. M.7. Manometru diferențial cu o singură ramură.

Se poate utiliza și ca **m.** diferențial (Fig. M.7), diferența de presiune fiind dată de relația:

$$p_1 - p_2 = (\rho_m - \rho) gh \left(1 + \frac{s}{S}\right) - \rho g (h_{0,1} - h_{0,2}).$$

Pentru gaze, relația se simplifică sub forma:

$$p_1 - p_2 = \rho_m gh.$$

Micromanometru cu tub înclinat (Fig. M.8), format dintr-un rezervor conținînd lichidul manometric, la care tubul racordat este înclinat cu un unghi α față de orizontală. Relația de calcul este aceași ca la **m.** cu o singură ramură, însă citirea făcîndu-se în lungul tubului, prin deplasarea l a lichidului față de reperul zero, se mărește precizia de măsurare. Relația de calcul se rescrie sub forma:

$$p - p_{at} = \rho_m gl \left[1 + \frac{s}{S \sin \alpha} \left(1 - \frac{\rho}{\rho_m}\right)\right] \cdot \sin \alpha - \rho g h_0.$$

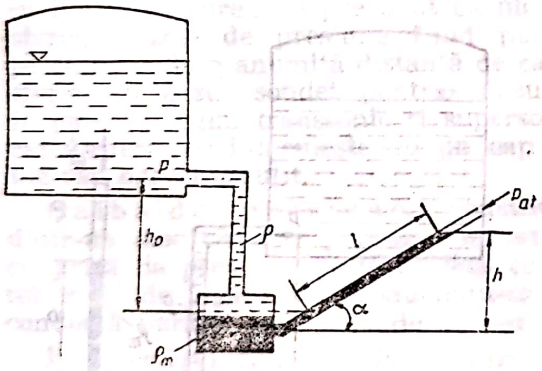


Fig. M.8. Micromanometru cu tub înclinat.

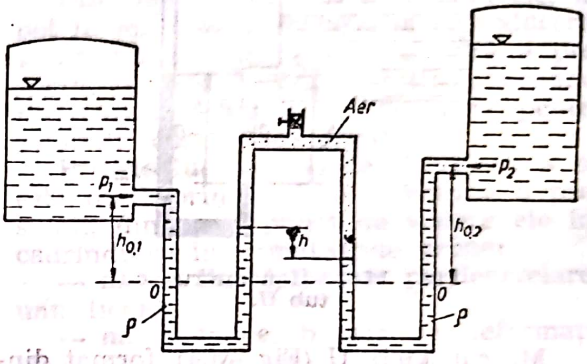


Fig. M.9. Manometru diferențial cu tub U întors.

Aparatul poate fi folosit și ca micromanometru diferențial;

M. diferențial cu tub în formă de U întors (Fig. M.9), reprezentînd un montaj specific pentru măsurarea diferențelor de presiune, care permite măsurarea unor diferențe relativ mici între presiuni mari, preluate de aerul sub presiune de la partea superioară a tubului. Relația de calcul este:

$$p_1 - p_2 = \rho gh - \rho g (h_{0,1} - h_{0,2});$$

Micromanometru compensator Askania (Fig. M.10), utilizat ca aparat etalon pentru măsurarea pre-

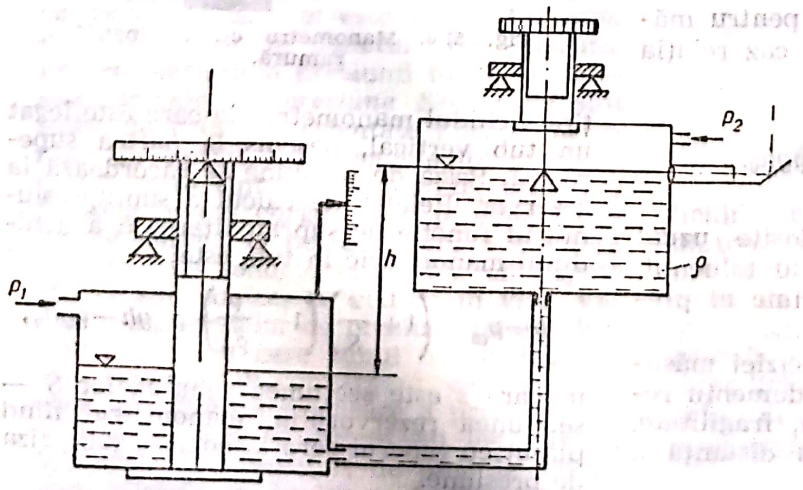


Fig. M.10. Micromanometru compensator Askania.

siunilor mici pînă la 150 mm coloană de apă, precizia fiind de 0,02 ... 0,05 mm coloană de apă.

Este format din două rezervoare unite printr-un tub flexibil. Unul dintre rezervoare se poate deplasa pe direcție verticală, deplasarea fiind măsurată precis cu ajutorul unui șurub micrometric. Celălalt rezervor conține un reper de formă conică, cu vîrful spre suprafața lichidului și un sistem optic care suprapune peste con imaginea sa răsturnată, astfel încît cele două imagini se suprapun cînd vîrful conului atinge suprafața lichidului. În momentul inițial, cînd aparatul nu este conectat, se reglează astfel, încît vîrful reperului să atingă suprafața lichidului. Racordînd presiunea care trebuie măsurată, se produce o denivelare a lichidului. Prin rotirea șurubului micrometric se aduce din nou vîrful reperului la suprafața lichidului. Se citește deplasarea rezervorului, aceasta reprezentînd mărimea suprapresiunii, în mm, coloană de lichid.

Sursele erorilor sistematice la **m.** cu lichid sînt: variația densității lichidului manometric sau a fluidului măsurat, în funcție de temperatură, compoziție chimică, compresibilitate; dilatarea liniară a scării de citire; diferențe la accelerația gravitațională.

M. metalice, la care presiunea de măsurat este compensată prin forțele elastice care apar prin deformarea unui element elastic, se utilizează pentru măsurarea presiunilor în domeniul larg, cuprins între 100 Pa și 10 000 bari, ele indicînd presiunea relativă. Principalele tipuri sînt următoarele:

M. cu resort tubular (tip Bourdon) (Fig. M.11) este cel mai răspîndit. Elementul elastic este un tub metalic, curbat după un arc de cerc de circa 270°, avînd secțiunea eliptică. Un capăt al tubului este racordat la priza de presiune, celălalt fiind închis, la el fiind legat, printr-o pîrghie, un sector dințat care rotește printr-un pinion acul indicator. Presiunea transmisă aparatului deformează elastic tubul, capătul tubului deplasîndu-se și acționînd acul indicator.

La o aceeași presiune, deplasarea variază cu cubul razei de curbură, deci se obține o precizie mai bună la dimensiuni mai mari ale tubului. Pentru a mări sensibilitatea aparatului se utilizează **tuburi Bourdon polispiralate.**

Se pot realiza aparate cu ac de control pentru indicarea valorilor maxime sau minime ale presiunii. De asemenea, se construiesc **m. cu semnalizare**

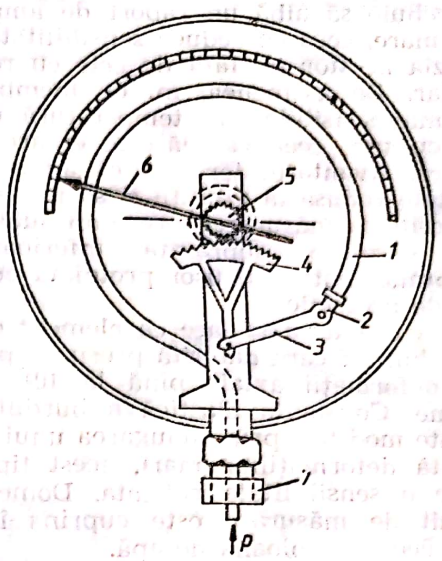


Fig. M.11. Manometru cu resort tubular:
1 — resort tubular; *2* — axă de articulație; *3* — pîrghie; *4* — sector dințat; *5* — roată dințată; *6* — ac indicator; *7* — racord de priză de presiune.

electrică, care conțin unul sau două contacte ce se închid la atingerea unor valori specificate ale presiunii.

M. cu resort tubular pot fi utilizate în domeniul de presiuni între 0,6 și 300 bari. Se pot construi și aparate pînă la 4 000 bari, utilizînd un tub Bourdon în formă de U, din oțel.

Se poate realiza și ca **m.** diferențial, avînd două tuburi elastice, unul acționînd acul indicator, iar celălalt, scara mobilă a aparatului, indicîndu-se astfel direct diferența de presiune.

M. cu membrană (Fig. M.12) este bazat pe dependența dintre presiune și săgeata maximă a unei membrane metalice

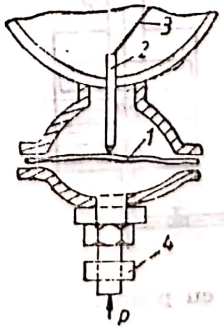


Fig. M.12. Manometru cu membrană:
1 — membrană; *2* — tijă; *3* — pîrghie; *4* — racord de priză de presiune.

care închide o cameră cilindrică. Săgeata maximă de încovoiere a părții centrale a membranei fiind mică, de ordinul de 1,5 ... 2 mm, mecanismul de indicare, format dintr-un sistem de pîrghii și angrena-

je, trebuie să aibă un raport de amplificare mare, ceea ce reduce sensibilitatea și precizia acestor **m.** față de cele cu resort tubular. De asemenea, **m.** cu membrană sînt mai sensibile la temperatură decît cele cu tub, ceea ce mărește eroarea de măsură. Avantajul lor este că au o sensibilitate redusă la vibrații și șocuri și pot fi folosite la măsurarea presiunii substanțelor corosive, suprafața inferioară a membranei putînd fi ușor protejată cu un strat de protecție.

M. cu burduf are ca element elastic un burduf care datorită presiunii poate avea deformații axiale pînă la 10% din lungime. Constanta elastică a burdufului se poate modifica prin adăugarea unui arc. Datorită deformațiilor mari, acest tip de **m.** are o sensibilitate ridicată. Domeniul obișnuit de măsurare este cuprins între 60 și 1 000 mm coloană de apă.

M. cu capsulă are ca element elastic o capsulă care, supusă unei presiuni interioare, se deformează unilateral sau bilateral. Domeniul de măsurare obișnuit este între 100 și 6 000 mm coloană de apă.

O serie de aparate de măsurat presiunea, bazate pe deformarea unor elemente elastice, măsoară deformațiile pe cale electrică, fiind denumite **traductoare.** Ele pot fi de diferite tipuri: **capacitive, inductive, tensometrice, piezoelectrice, rezistive** etc.

Din grupa manometrelor bazate pe forțele și momentele forțelor de presiune fac parte următoarele tipuri:

M. cu piston (Fig. M.13) este cel mai precis tip de **m.**, folosit în special la etalonare și verificare. Principiul de funcționare este cel al unei prese hidraulice, fiind format dintr-un cilindru cu raza R,

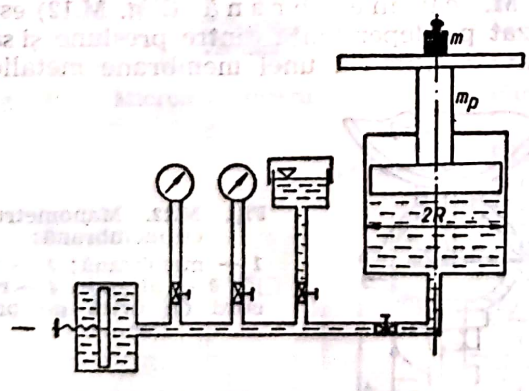


Fig. M.13. Manometru cu piston.

în care se deplasează un piston cu raza r și masa m_p. Pe fața superioară a pistonului se poate adăuga o masă suplimentară m care echilibrează forța hidrostatică de pe fața inferioară a pistonului, creată de presiunea care se măsoară. Relația de calcul a presiunii este:

$$p - p_{at} = \frac{g(m_p + m)}{S},$$

unde S este suprafața activă a pistonului; $S = \frac{\pi}{2}(R^2 + r^2)$.

Se pot construi pentru presiuni de pînă la 50—60 bari, iar în mod excepțional, cu două ghidaje pentru piston, pînă la presiuni de 500 bari.

M. diferențial inelar (Fig. M.14) este format dintr-un tub inelar, con-

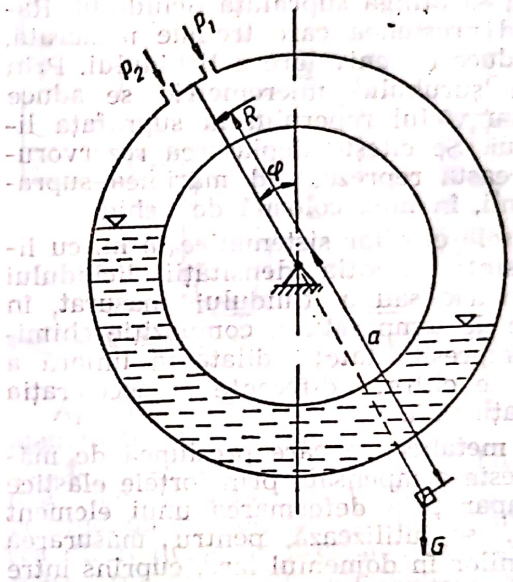


Fig. M.14. Manometru diferențial inelar.

ținînd un lichid manometric, cu un perete de separație și două prize de presiune pe cele două părți. Tubul inelar se sprijină pe un lagăr central. La partea inferioară este fixată o greutate G, la distanța a de la centru, reglabilă. Diferența de presiune produce o denivelare a lichidului din cele două ramuri ale tubului, iar forțele de presiune care acționează asupra peretelui de separație produc un moment care rotește tubul pînă este egalat de momentul greutății G. Relația de calcul a diferenței de presiune este:

$$p_1 - p_2 = \frac{G \cdot a}{s \cdot R} \sin \varphi = K \cdot \sin \varphi,$$

unde s este aria peretelui de separație, supusă diferenței de presiune, iar R raza centrului de greutate al acestuia.

M. inelar se utilizează pentru măsurarea presiunilor și diferențelor de presiune

mici ale gazelor, de ordinul 4—2 500 mm coloană de apă.

M. diferențial cu clopote (Fig. M.15) este compus din două vase în care se găsesc doi cilindri; sub aceștia se transmit presiunile a căror diferență trebuie măsurată. Cilindrii sînt articulați la brațele unei balanțe de care este fixată printr-o tijă de lungime b o contragreutate G. Dacă cilindrii sînt identici, cu secțiunea S, iar brațele balanței sînt egale, de lungime r, relația de calcul a diferenței de presiune este:

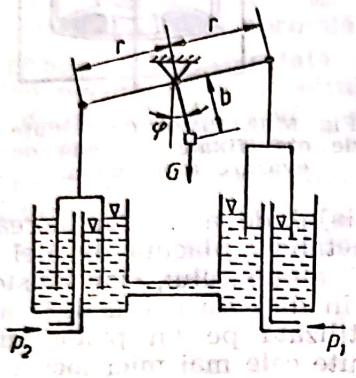


Fig. M.15. Manometru diferențial cu clopote.

$$p_1 - p_2 = \frac{G \cdot b}{S \cdot r} \operatorname{tg} \varphi = K \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

în care φ este unghiul de înclinare al tijei contragreutății.

În grupa **m.** bazate pe variația proprietăților fizice ale substanțelor, se încadrează aparate speciale destinate măsurării presiunilor foarte scăzute sau foarte mari.

M. termic determină presiunea prin măsurarea temperaturii unui fir încălzit electric, bazîndu-se pe dependența conductibilității termice a gazului de presiune. Temperatura depinde de căldura transmisă gazului, care este funcție de presiunea acestuia. Elementul specific al aparatului este lampa manometrică, formată dintr-un balon care conține firele metalice, racordat la instalația de vid.

Ca variante constructive sînt **m. cu termocuplu**, la care se determină temperatura firului încălzit cu ajutorul unui termocuplu, și respectiv **m. cu punte**, la care firul este montat într-o punte neechilibrată și care se echilibrează la presiunea atmosferică.

M. termic se utilizează pînă la presiuni de 10^{-3} torr, el trebuind să fie calibrat pentru fiecare gaz în parte.

M. cu ionizare se bazează pe dependența dintre presiune și curentul într-un gaz ionizat. Se pot măsura presiuni între 10^{-3} și 10^{-10} torr.

Pentru măsurarea presiunilor foarte mari, pînă la 30 000 bari, se utilizează traductoare din materiale cu rezistențe variabile cu presiunea (manganina, cărbunele). La valori mai mari, pînă la 100 000 bari, presiunea se determină prin tranziția de fază a unor substanțe, printre care bismutul.

MANTA DE PISTON. Parte componentă a pistoanelor motoarelor cu ardere internă, situată sub regiunea portsegmenți (Fig. M.16), care servește la ghidarea pistonului în cilindru și la transmiterea forței normale. De asemenea, **m. de p.** permite evacuarea a circa 20—30% din căldura primită de piston. **M. de p.** conține umerii în care se prelucrează locașurile axului pistonului.

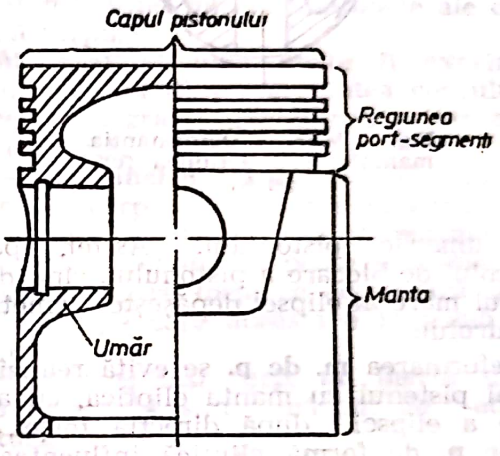


Fig. M.16. Piston de motor cu ardere internă.

Forța normală N (Fig. M.17) aplică pistonul pe cilindru și produce forța de fre-

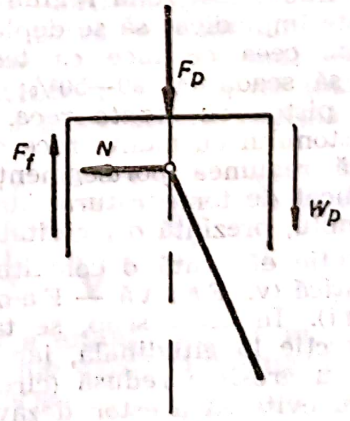


Fig. M.17. Forța normală pe suprafața laterală:
F_p — forța de presiune a gazelor; w_p — viteza de deplasare a pistonului.

care F_f. Întrucît forța N lucrează într-un singur plan, **m. de p.** este aplicată pe cilindru numai în planul de oscilație a bielei, normal pe axa umerilor. În consecință, **m. de p.** este deformată de reacțiunea cilindrului, luînd înfățișarea unei elipse (Fig. M.18), cu axa mare după direcția

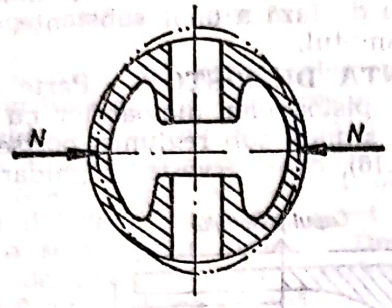


Fig. M.18. Deformanția mantalei sub acțiunea forței N.

axei umerilor pistonului. Astfel, apare pericolul de blocare a pistonului, cînd diametrul mare al elipsei depășește diametrul cilindrului.

Deformarea **m. de p.** se evită realizînd inițial pistonul cu manta eliptică, cu axa mare a elipsei după direcția forței N. **M. de p.** de formă eliptică influențează, însă, negativ eficiența etanșării la gaze. De exemplu, pentru un piston cu diametrul de 78 mm creșterea ovalității de la 0,18 mm la 0,35 mm are ca efect creșterea de aproape 8 ori a scăpărilor de gaze.

La motoarele cu aprindere prin scînteie, **m. de p.** se separă, în general, de regiunea portsegmenți printr-o tăietură practicată sub canalul segmentului de ungere, într-un plan normal pe axa pistonului (v. Fantă). Prin acest procedeu, fluxul de căldură din zona regiunii portsegmenți este împiedicat să se deplaseze spre **m. de p.**, ceea ce face ca temperatura acesteia să scadă cu 30—50%; soluția se numește piston cu *manta rece*. Dezavantajele pistonului cu manta rece constau în aceea, că regiunea portsegmenți are un nivel ridicat de temperatură, iar pistonul, în ansamblu, prezintă o rigiditate scăzută.

O soluție eficientă o constituie *mantaua elastică* (v. Fantă — Fanta pistonului). În acest scop, se taie **m. de p.** în direcție longitudinală, iar pereții se execută cu grosime redusă (circa 2 mm).

Pentru evitarea acestor dezavantaje se utilizează *pistoanele autotermice*. Acestea au fixate la periferia mantalei din aluminiu, în zona de evazare din dreptul umerilor (Fig. M.19), plăcuțe de oțel de calitate. În timpul funcționării, plăcuța de

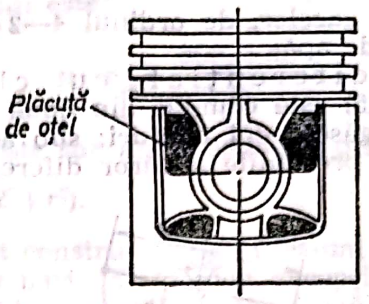


Fig. M.19. Piston cu plăcuțe de oțel fixate în zona de evazare a mantalei.

oțel și aliajul de aluminiu lucrează ca o lamă bimetalică: plăcuța de oțel frînează dilatarea aluminiului, iar sistemul se curbează în direcția evazării. O asemenea soluție utilizată pe un piston cu manta rece permite cele mai mici jocuri de montaj: 0,012—0,024 mm. Plăcuțele de oțel au în plus rolul de a mări rigiditatea **m. de p.** și a umerilor acesteia; de aceea, asemenea pistoane au fost numite autotermice. Experiența a arătat că, sub acțiunea unei forțe de 225 daN, aplicată pe capul pistonului, mantaua unui piston autotermic a înregistrat o deformație de 13 μm, iar cea a unui piston fără plăcuțe, de 89 μm. Rezultate satisfăcătoare s-au obținut și în cazul înlocuirii plăcuțelor de metal cu unul sau două inele de oțel, încorporate în material la turnare, la partea superioară și, eventual, la partea inferioară a **m. de p.** Soluția se asociază cu o manta rece.

La motoarele cu aprindere prin scînteie în doi timpi, **m. de p.** conține o serie de ferestre care asigură procesul de baleiaj.

Artificiile constructive utilizate la pistoanele motoarelor cu aprindere prin scînteie nu se folosesc la pistoanele motoarelor cu aprindere prin comprimare, deoarece conduc la rigiditate insuficientă și la o încălzire intensă a regiunii portsegmenți. De aceea, la motoarele cu aprindere prin comprimare nu se utilizează manta tăiată nici longitudinal, nici transversal. Se utilizează, însă, soluția cu manta eliptică.

Motoarele diesel navale de propulsie, în patru timpi, semirapide, au, în numeroase variante constructive, pistonul format din două bucăți: capul pistonului și regiunea portsegmenți, din oțel, iar mantaua, din aluminiu; asamblarea se realizează prin intermediul unor șuruburi speciale [v. Piston]

Motoarele diesel navale, în doi timpi, lente, cu cap de cruce, sînt echipate cu pistoane la care mantaua este utilizată numai pentru ghidare și pentru realizarea

Scanned with OKEN Scanner

procesului de baleiaj. Forța normală N este preluată de capul de cruce.

La proiectarea pistonului, mantaua se verifică astfel, încît presiunea specifică p_m să nu depășească o anumită valoare, determinată convențional, pentru a preveni întreruperea peliculei de ulei. Relația de verificare, $p_m = N_{max}/(D \cdot L_m - A_{ev})$, se stabilește în ipoteza că forța normală N_{max} acționează pe suprafața proiectată a **m. de p.** pe un plan normal pe axa boltului (D reprezintă diametrul cilindrului motorului, iar L_m — lungimea mantalei); A_{ev} reprezintă aria suprafețelor proiectate a evazărilor practicate pe **m.** Forța N_{max} rezultă ca urmare a calculului dinamic al motorului sau poate fi aproximată cu relația:

$$N_{max} = (0{,}08 \ldots 0{,}12) p_{max} \cdot \pi \cdot D^2/4$$

(p_{max} — presiunea maximă din cilindrul motorului). Valorile uzuale pentru p_m sînt: 3,0 ... 5,0 daN/cm², pentru motoare de autocamioane și tractoare; 4,0 ... 7,0 daN cm² pentru motoare de autoturisme; $\leqslant$10 daN/cm² pentru motoare supraalimentate. Profilul longitudinal al **m. de p.** poate fi cilindric, tronconic sau combinații ale acestor forme, iar profilul transversal este eliptic.

Jocurile dintre **m. de p.** și cilindrul motorului, la rece și la cald, sînt prezentate în tabelul M.1.

Tabelul M.1

Jocurile mantalei în cilindrul motoarelor cu ardere internă

Felul jocului	UM	Tipul motorului	
		Aprindere prin scînteie	diesel
La rece (montaj)	mm	$(0{,}6 \ldots 0{,}9) \cdot 10^{-3} \cdot D$	$(1{,}3 \ldots 1{,}5) \cdot 10^{-3} D$
La cald (funcționare)	mm	$(0{,}2 \ldots 0{,}4) \cdot 10^{-3} D$	$(0{,}9 \ldots 1{,}3) \cdot 10^{-3} D$

Pentru mărirea durabilității pistoanelor, mantaua se acoperă cu straturi protectoare (cositor, plumb, grafit, oxizi de aluminiu etc.), care au calitatea de a mări aderența uleiului la metal, de a îmbunătăți calitățile de antifricțiune și de a fi rezistente la atacuri chimice.

MARIOTTE (Legea). v. Boyle (Legea).

MASĂ. Mărime fundamentală, caracteristică unui corp din punctul de vedere al cantității de materie conținută, care intervine în legile mișcării corpului și ale transformărilor la care acesta este supus.

Newton a stabilit experimental proporționalitatea între **m.** și cantitatea de substanță conținută într-un corp în mișcare.

Ulterior, s-au conturat trei aspecte importante ale noțiunii de **m.**

— **M. gravitațională.** Conform principiului atracției universale enunțat de Newton, două corpuri situate la distanța d, se atrag cu o forță

$$f = K \cdot \frac{m \cdot m'}{d^2},$$

m și m' fiind **m.** gravitaționale ale celor două corpuri.

M. gravitațională poate fi exprimată prin raportul dintre greutatea corpului și accelerația gravitațională sub acțiunea căreia se află.

— **M. inertă** caracterizează opoziția oricărui corp la acțiunea externă care tinde să-i modifice viteza ca mărime (modul) sau direcție. Se poate exprima prin raportul dintre forța ce acționează și accelerația pe care aceasta o imprimă corpului.

Pentru același corp, **m.** inertă și cea gravitațională sînt mărimi de aceeași natură.

— **M.-energie.** În dinamica relativistă, noțiunea de **m.** este legată de cea de energie.

M. unui corp este variabilă cu viteza ei de deplasare (v), conform relației:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

în care m_0 este **m.** corpului în repaus (la $v = 0$), iar c — viteza luminii.

Prin aplicarea principiului relativității la un sistem izolat, în condițiile menținerii constante a energiei lui totale, Paul Langevin a găsit pentru energia cinetică expresia:

$$E_c = m_0 \cdot c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_2}{c_2}}} - 1 \right) = m \cdot c^2 - m_0 \cdot c^2$$

Einstein a arătat că între **m.** și energia unei particule există o relație de echivalență de forma:

$$E = m \cdot c^2$$

și astfel, **m.** și energia par a fi manifestări ale aceleiași cantități (m.-energie).

În forma:

$$m \cdot c^2 = E_c + m_0 \cdot c^2,$$

relația $E = m \cdot c^2$ arată că energia totală a unui sistem de particule în cursul unei reacții atestă eliberarea unei cantități de energie echivalentă **m.** dispărute.

De exemplu, un nucleu se formează cu o pierdere de **m.** echivalentă energiei de legătură. În aceste condiții, principiul conservării energiei ia locul principiului conservării **m.**

În dinamica clasică, viteza de mișcare a corpului fiind mult inferioară celei a luminii $\left(\frac{v}{c} \ll 1\right)$, din relația de calcul a **m.** se vede că **m.** se poate considera constantă și egală cu **m.** de repaus, $m \cong m_0$.

Unitatea de măsură pentru **m.** în sistemul internațional este kilogramul (kg).

Cea mai mică **m.** cunoscută este cea a electronului $9 \cdot 10^{-31}$ kg, masa pămîntului fiind evaluată la aproximativ $6 \cdot 10^{24}$ kg, iar cea a universului la 10^{53} kg.

Măsurarea **m.** se poate face direct, cu balanța, prin echilibrarea **m.** de măsurat, cu un număr de **m.** marcate, așezate pe celălalt taler al balanței.

În astronomie, **m.** corpurilor cerești se poate deduce (indirect) din acțiunea pe care ele o exercită asupra legii de mișcare a corpurilor vecine (de exemplu, **m.** planetelor, din mișcarea sateliților), iar **m.** stelelor se poate obține din corelația care există între **m.** și strălucirea lor.

Legea conservării **m.**, enunțată pentru prima dată de Lavoisier („în natură nimic nu se pierde, nimic nu se creează") și de Mendeleev, exprimă egalitatea, valabilă în mecanica clasică, între **m.** ansamblului (sistemului) și suma **m.** constituenților.

Legea acțiunii **m.**, datorată lui Couldberg și Waage, se poate enunța astfel: într-un sistem în care are loc reacția:

$$\nu_1 A_1 + \nu_2 A_2 + \ldots + \nu_i A_i \rightleftarrows \nu_1' A_1' + \nu_2' A_2' + \ldots + \nu_i' A_i',$$

constanta de echilibru chimic (care nu depinde decît de temperatură) are expresia:

$$K = \frac{A_1'^{\nu_1'} \cdot A_2'^{\nu_2'} \ldots A_i'^{\nu_i'}}{A_1^{\nu_1} \cdot A_2^{\nu_2} \ldots A_i^{\nu_i}} = \frac{\prod_i A_i'^{\nu_i'}}{\prod_i A_i^{\nu_i}},$$

în care A_i, respectiv A_i' reprezintă activitățile substanțelor participante (egale cu concentrațiile molare doar în cazul soluțiilor diluate), iar ν_i, respectiv ν_i' sînt coeficienții stoichiometrici din ecuație.

MASĂ CRITICĂ. Cantitatea minimă de material fisionabil (izotopii uraniu-233, uraniu-235, plutoniu-239), care permite realizarea unei reacții de fisiune în lanț autoîntreținute. Deoarece într-o reacție de fisiune sînt produși 2—3 neutroni liberi, din care numai unul este necesar pentru menținerea unui lanț de fisiune, se vede că procesul de fisiune o dată inițiat într-o masă dată de material fisionabil are condiții de autoîntreținere. Totuși, nu toți neutronii liberați printr-o fisiune produc reacțiile ulterioare de fisiune ale lanțului. O parte din neutroni este pierdută prin absorbția în diverse materiale prezente, inclusiv în materialul fisionabil, dar fără să producă fisiune, iar o altă parte ajunge în mediul ambiant, părăsind complet sistemul în care are loc reacția de fisiune. Fracția de neutroni pierduți poate fi redusă prin creșterea volumului (sau masei) de material fisionabil. **M.c.** variază de la aproximativ 950 g de uraniu-235 sau o cantitate chiar mai mică de plutoniu-239 sub formă de săruri dizolvate în apă, la 16 kg sub forma unei sfere metalice solide de uraniu-235, pînă la sute de tone pentru reactoarele de putere. **M.c.** crește prin prezența materialelor absorbante de neutroni, ca de exemplu, uraniul-238, canalele din aluminiu, zirconiu etc. pentru curgerea agentului de răcire sau barele de control din bor sau cadmiu. **M.c.** descrește prin prevederea unui moderator, ca de exemplu, grafitul sau apa grea, care încetinesc neutronii rapizi produși prin fisiune, indirect mărind probabilitatea de producere a fisiunii. Același efect asupra **m.c.** îl au aceste materiale cînd sînt folosite ca reflectoare, înconjurînd sistemul, în care caz reduc pierderile de neutroni în mediul ambiant.

MAȘINĂ CU ABUR. Mașină de forță care produce lucru mecanic. Aburul (vaporii de apă este produs într-un generator de vapori (cazan). El este introdus în cilindrul mașinii cu abur de un mecanism de distribuție.

M. cu a. a apărut datorită cerințelor tot mai mari de putere pentru pomparea apei din minele de cărbuni din Anglia. În acest scop, s-au făcut încercări încă din secolul al XVII-lea în mai multe locuri, dar prima pompă cu abur utilizabilă se pare că a fost construită de Newcomen (Fig. M.20) din Anglia, în 1711. Dezvoltarea propriu-zisă a **m. cu a.** a început însă în 1769, cu brevetul mecanicului sco-

Scanned with OKEN Scanner

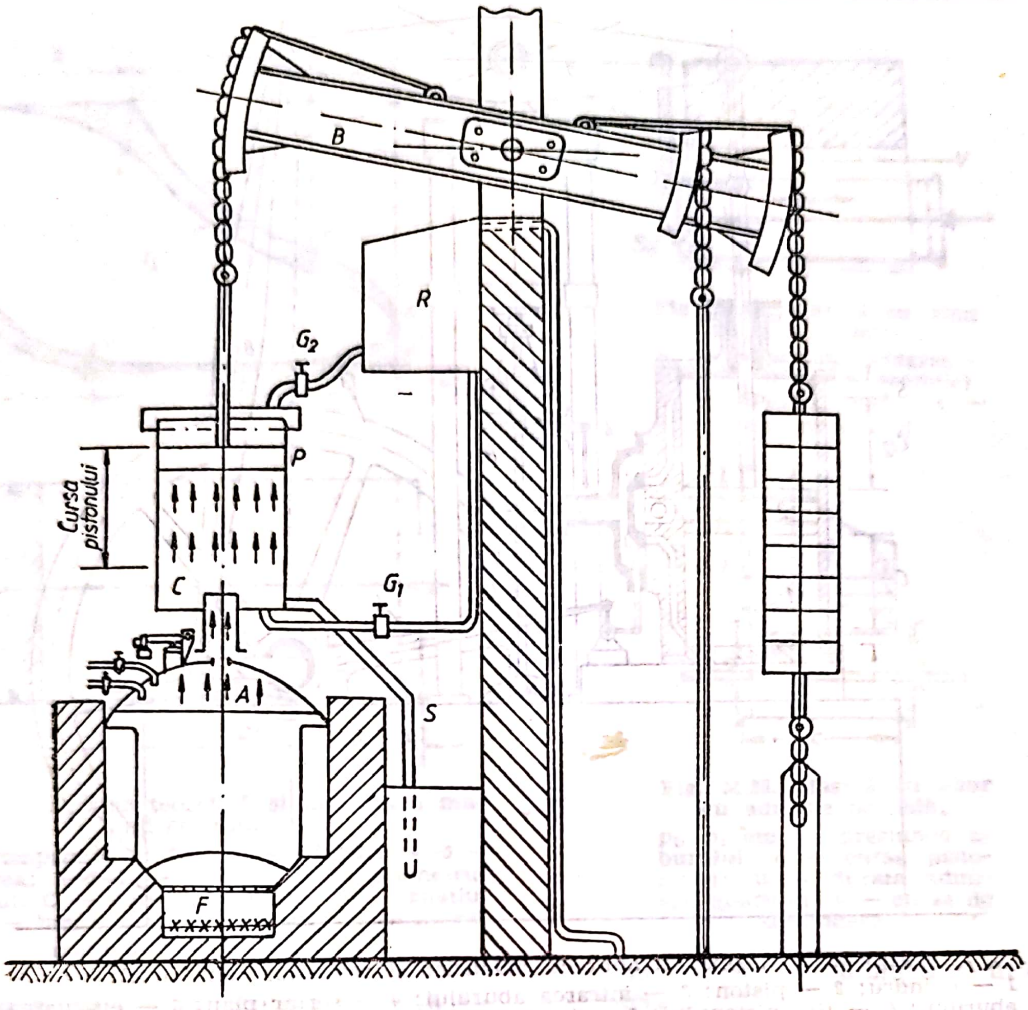


Fig. M.20. Mașina Newcomen:
A — cazan de abur; *B* — balansier; *C* — cilindrul mașinii cu abur; *F* — focarul cazanului; *R* — rezervor de apă; *S* — țeavă de eliminare a condensului; *P* — piston.

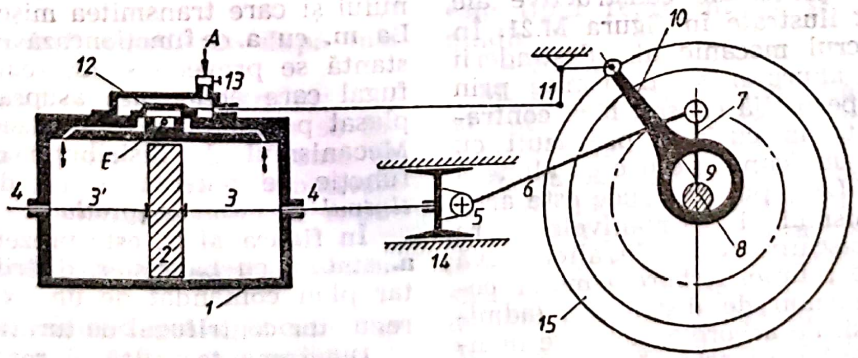


Fig. M.21. Mașina cu abur cu dublu efect:
1 — cilindru; *2* — piston; *3*, *3'* — tija și contratija pistonului; *4* — garnituri de etanșare; *5* — cap de cruce; *6* — bielă; *7* — manivelă; *8* — arbore motor; *9* — excentricul de distribuție; *10* — tija excentricului; *11* — pîrghia de comandă a sertarului de distribuție; *12* — sertar; *13* — robinet de admisie; *14* — glisieră; *15* — volant.

Scanned with OKEN Scanner

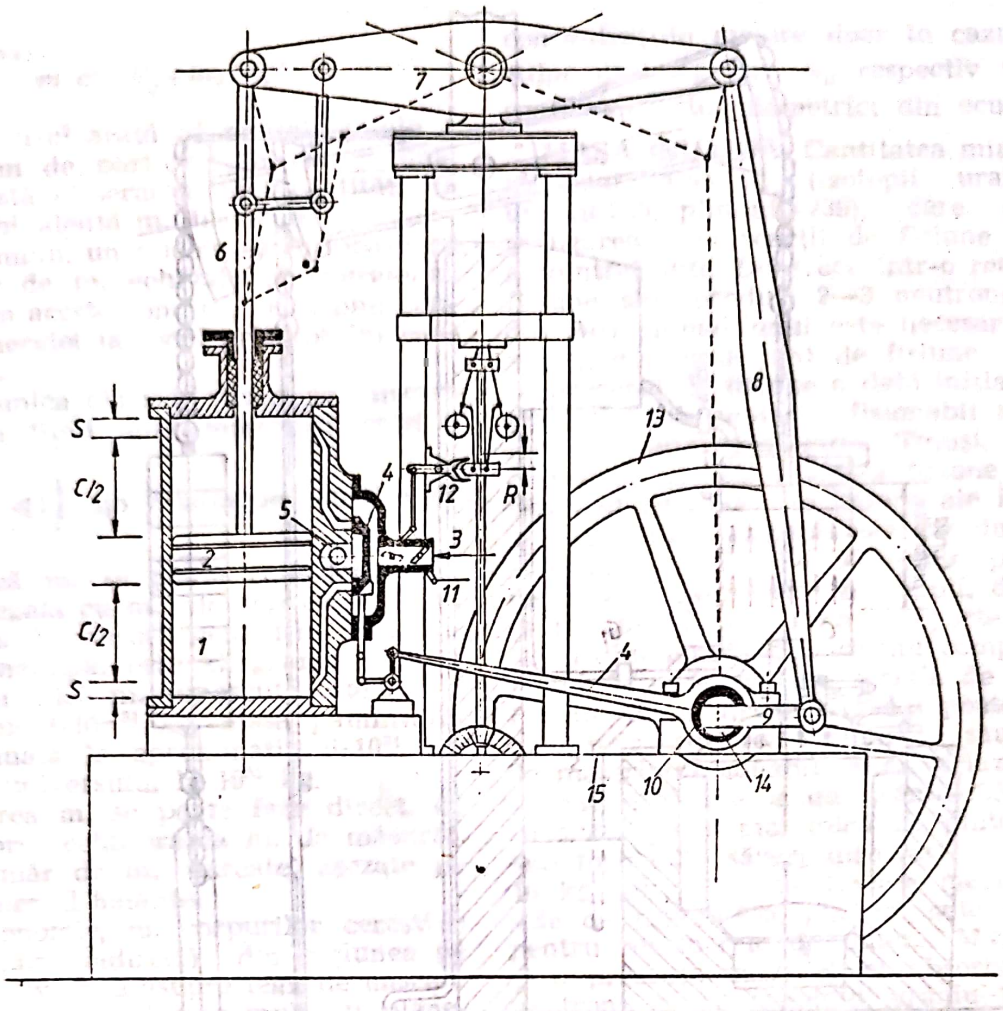


Fig. M.22. Mașina cu abur cu balansier și regulator centrifugal:
1 — cilindru; *2* — piston; *3* — intrarea aburului; *4* — sertar plan; *5* — evacuarea aburului; *6* — tija pistonului; *7* — balansier; *8* — bielă; *9* — manivelă; *10* — excentric pentru distribuție; *11* — comanda admisiei aburului; *12* — regulator centrifugal; *13* — volant; *14* — arbore motor; *15* — batiu; *C* — cursa pistonului; *R* — cursa regulatorului; *S* — spațiul mort.

țian James Watt, care a realizat **m. cu a.** cu dublu efect. **M. cu a.** devine principala sursă de lucru mecanic în agricultură, industrie și în transporturi.

Elementele principale constructive ale **m. cu a.** sînt ilustrate în figura M.21. În cilindru, lucrul mecanic al destinderii adiabatice a aburului se transmite prin piston (fixat pe o tijă cu sau fără contratijă și ghidată în cuzineți prevăzuți cu presetupe) la un cap de cruce ce alunecă pe o glisieră. La capul de cruce este articulat mecanismul bielă-manivela care transformă mișcarea rectilinie alternativă în mișcare de rotație. Arborele motor comandă mecanismul de distribuție (admisie) a aburului. Pe arborele motor se montează un volant care asigură prin inerția sa regularitatea mersului. La locomotive, arborele motor este una din osiile motoare, iar volantul, roțile locomotivei.

M. cu a. este singura mașină de forță care poate să demareze sub sarcină, fără a fi necesar intercalarea de ambreiaje și cutii de viteze. Unele **m. cu a.** din perioada de început erau prevăzute cu un balansier asupra căruia acționa tija pistonului și care transmitea mișcarea la bielă. La **m. cu a.** ce funcționează cu turație constantă se prevede și un regulator centrifugal care acționează asupra unui ventil plasat pe conducta de admisie a aburului. Mecanismul de distribuție determină în funcție de puterea cerută de la mașină *timpul de admisie (gradul).*

În figura M.22, este prezentată o **m. cu a.** stabilă cu balansier, distribuție cu sertar plan comandat de un excentric și cu regulator centrifugal de turație.

Diagrama teoretică și reală (de lucru) a **m. cu a.** este prezentată în figura M.23. Raportul dintre lucrul mecanic teoretic și cel real este randamentul indicat $\eta_i = \frac{L_i}{L_0}$ (lucrul indicat/lucrul ciclului teoretic).

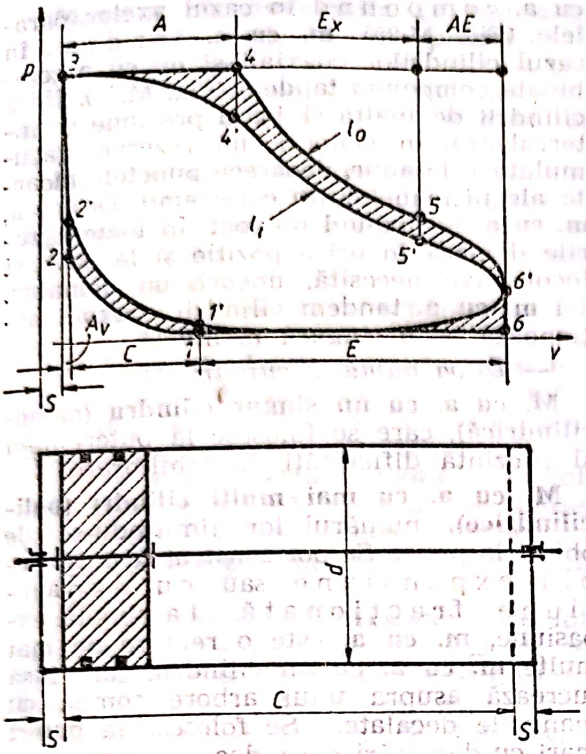


Fig. M.23. Diagrama teoretică și indicată a mașinii cu abur:

1—2 — comprimarea; *2—3—4* — admisia; *4—5* — destinderea; *5—6—1* — emisia; *d* — diametrul cilindrului; *C* — cursa pistonului; *S* — spațiul mort; l_0 — lucrul mecanic teoretic; l_1 — lucrul mecanic indicat (real).

M. cu a. cu piston poate funcționa în limite largi de putere, cu randamente bune, datorită faptului că gradul de admisie poate fi variat între limite mari (la locomotive spre exemplu de la 20% la 80%) și permite ușor inversarea sensului de mers. Aceste calități au determinat domeniile de folosire a **m. cu a.** la instalații mobile mici și la cele stabile mici și mijlocii.

M. cu a. pot fi **clasificate** după mai multe criterii, și anume:

— *După așezarea axei cilindrului:*

M. cu a. cu ax orizontal, care se întîlnesc cel mai adesea la toată gama de puteri, de la puteri mici la locomotivele de mină, pînă la locomotivele din industria grea.

— *După modul de acționare al aburului:*

M. cu a. cu admisie totală, la care aburul acționează pe toată cursa pistonului, fără a se folosi expansiunea. Se aplică numai la puteri foarte mici și presiuni joase (1—2 kg/cm²). Lucrînd cu încărcări mari, au un consum foarte mare de abur (Fig. M.24);

M. cu a. cu admisie parțială (Fig. M.25), la care destinderea are loc în două faze;

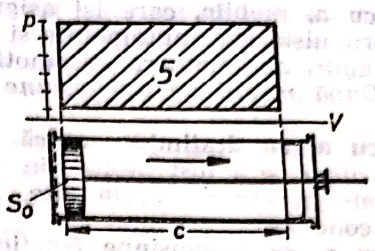


Fig. M.24. Mașină cu abur cu admisie totală:

S — suprafața diagramei (lucrul mecanic teoretic); S_0 — spațiul mort; *c* — cursa pistonului.

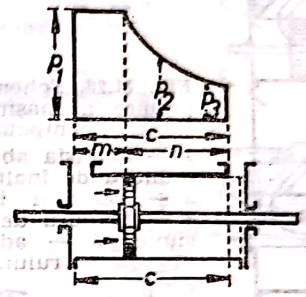


Fig. M.25. Mașină cu abur cu admisie parțială:

p_1, p_2 etc. — presiunea aburului; *c* — cursa pistonului; *m* — durata admisiei aburului; *n* — cursa de destindere.

în prima fază are loc admisia și în a doua destinderea.

— *După modul în care acționează aburul pe piston:*

M. cu a. cu simplu efect, la care aburul acționează numai pe o singură față a pistonului. Sistemul este folosit la mașini mici;

M. cu a. cu dublu efect, la care aburul acționează pe ambele fețe ale pistonului; este tipul reprezentativ și cel mai răspîndit.

— *După turație:*

M. cu a. lente, avînd turația între 5—50 rot/min și care se folosesc rar (ex.: nave fluviale cu zbaturi);

M. cu a. rapide, avînd de obicei o turație de 150—450 rot/min (la mașini mari de cca 300 rot/min), viteza pistonului fiind limitată la 8 m/s (la locomotive). Se construiesc însă și mașini cu turația mai mare de 450 rot/min (pînă la 1 200 rot/min). Acestea sînt **m. cu a.** mici, cu distribuție prin supape și, în multe cazuri, capsulate.

— *După locul de instalare:*

M. cu a. stabile, care sînt amplasate în fundație fixă;

M. cu a. semistabile, care se pot mișca pe roți proprii, propulsia fiind, însă, asigurată din afara ei (ex.: locomotive);

Scanned with OKEN Scanner

M. cu a. mobile, care îşi asigură singură propulsia (ex.: automobile şi camioane cu abur, automotoare, locomotive).

— *După modul de expansiune a aburului:*

M. cu a. cu destindere unică, la care aburul după ce a fost destins în cilindru, este emis în atmosferă, la alte utilizări, sau în condensator;

M. cu a. cu expansiune fracţionată, în doi sau mai mulţi cilindri, care pot fi **m. cu a.** compound în cazul axelor paralele (Fig. M.26), **m. cu a.** tandem, în cazul cilindrilor coaxiali şi **m. cu a.** combinate compound-tandem (Fig. M.27). Între cilindrii de înaltă şi joasă presiune se intercalează, în general, un rezervor (acumulator) de abur, deoarece punctele moarte ale pistoanelor nu corespund. De aceea, **m. cu a.** compound nu poate în toate cazurile demara în orice poziţie şi la nave şi locomotive necesită, uneori, un demaror. La **m. cu a.** tandem cilindrii coaxiali acţionează pe o singură manivelă.

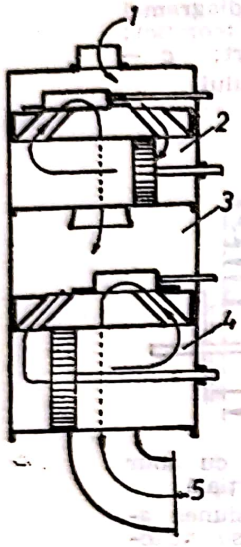


Fig. M.26. Schema de funcţionare a maşinii cu abur compound:
1 — admisia aburului; *2* — cilindru de înaltă presiune; *3* — rezervor intermediar; *4* — cilindru de joasă presiune; *5* — admisia aburului.

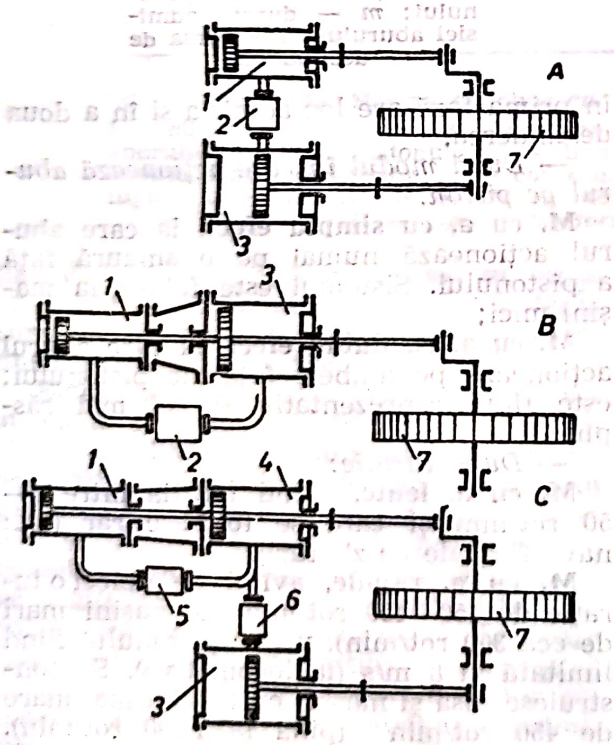


Fig. M.27. Maşină cu abur cu destindere fracţionată:
A — maşina compound; *B* — maşină cu cilindrii în tandem; *C* — maşină cu triplă destindere, compound-tandem; *1* — cilindru de înaltă presiune; *2* — rezervor de abur; *3* — cilindru de joasă presiune; *4* — cilindru de medie presiune; *5*; *6* — rezervor de abur; *7* — volant.

— *După numărul cilindrilor:*

M. cu a. cu un singur cilindru (monocilindrică), care se folosesc la puteri mici şi prezintă dificultăţi de echilibrare;

M. cu a. cu mai mulţi cilindri (policilindrice), numărul lor limitîndu-se de obicei la patru. Se pot construi cu simplă expansiune sau cu expansiune fracţionată. La simplă expasiune, **m. cu a.** este o reunire de mai multe **m. cu a.** cu un cilindru, care însă lucrează asupra unui arbore comun cu manivele decalate. Se folosesc la puteri mari cu demarări dese, deoarece decalarea manivelelor permite o pornire uşoară sub sarcină (ex.: locomotive, maşini marine, maşini de extracţie, laminoare). Dispoziţia cilindrilor poate fi cu axe paralele, coaxiale, sau în „V".

— *După calităţile aburului la intrare:*

M. cu a. saturat, care lucrează cu abur preluat direct din cazan. Din cauza pierderilor mari de căldură pe conducte şi condensărilor parţiale, acestea cresc odată cu mărirea diferenţei de temperatură între admisie şi emisie, precum şi cu reducerea gradului de admisie; de aceea, se folosesc numai la puteri mici şi la presiuni reduse ale aburului (ex.: instalaţie de pompe, locomotive, locomobile);

M. cu a. supraîncălzit, avînd pierderile de căldură mult mai mici (1/30—1/40 din cele ale aburului saturat) şi un consum redus de abur; temperaturile aburului supraîncălzit sînt de 350—550°C.

— *După calităţile aburului la evacuare:*

M. cu a. cu emisia în atmosferă (emisie liberă), la care presiunea de emisie este de aproximativ 1,1 at. Pierderile hidraulice în conductele de emisie sînt de aproximativ 0,1—0,3 at. Sistemul, din cauza randamentului redus, se foloseşte numai la puteri mici (ex.: pompe de abur, locomobile), sau cînd nu se pot realiza uşor alte soluţii mai avantajoase (ex.: locomotive cu abur);

Scanned with OKEN Scanner

M. cu a. cu condensație (cu emisia într-un condensator), la care presiunea în condensator scade pînă la 0,1—0,2 at, permițînd obținerea unei destinderi mai avansate și, deci, a unui lucru mecanic mai mare;

M. cu a. cu contrapresiune, la care aburul de emisie este condus la utilizări industriale sau auxiliare (ex.: curățare încălzire, fierbere etc.). Presiunea la emisie este de 1,5—3 at.

— *După presiunea aburului de admisie:*

M. cu a. de joasă presiune, care folosesc abur cu presiune de admisie pînă la 5 at; din cauza funcționării neeconomice, astfel de mașini au o răspîndire restrînsă;

M. cu a. de presiune medie, care folosesc abur cu 5 pînă la 30 at; se folosesc pentru abur saturat (policilindrice), cu destindere fracționată și cu abur supraîncălzit;

M. cu a. de înaltă presiune, care folosesc abur de admisie de 30—223 at; cele care depășesc 60 at se numesc și de foarte înaltă presiune. Aceste **m. cu a.** pot fi mono sau policilindrice. Se folosesc, în general, ca mașini stabile de contrapresiune pe nave mici cu o turbină cu abur de emisie și puteri pînă la 1 000 CP și, uneori, pe locomotive.

— *După felul distribuției:*

M. cu a. cu distribuție cu robinete oscilante (Corlis), care au patru robinete oscilante (sertare în formă de robinete); se folosesc numai la presiuni scăzute, pînă la 7—8 at, cu cilindri orizontali;

M. cu a. cu distribuție cu sertare, care pot fi plane (cu canal simplu sau dublu) sau cilindrice. Din cauza forței mari de frecare a sertarelor plane pe oglinda de glisare, ele se folosesc numai la abur saturat și la presiuni și temperaturi joase. Distribuția cu sertare cilindrice este mai echilibrată (presiune egală de sens contrar pe cele două discuri), are frecări mici și se folosește atît la abur saturat, cît și la abur supraîncălzit, mai ales la locomotivele cu abur (cu presiuni, în general, pînă la 30 at). Răspîndirea sertarelor cilindrice se datorează construcției simple fără ajustare manuală, funcționării sigure, întreținerii reglajului și accesului ușor (v. Fig. M.26);

M. cu a. cu distribuție cu supape, la care admisia și emisia sînt comandate prin supape. Sistemul se folosește la **m. cu a.** cu supraîncălzire și presiune înaltă și s-a introdus în mică măsură și la locomotive.

— *După soluții constructive speciale:*

M. cu a. cu echicurent, la care emisia se face prin fante plasate la mijlocul cilindrului și care sînt comandate de piston. Admisia se realizează, de obicei, cu supape și, mai rar, cu sertare. Pierderile de căldură prin condensație sînt mici. Laminarea la emisie prin fantele cu secțiune mare, este redusă. Se folosesc în general la instalații stabile;

M. cu a. cu prelevare de abur, care lucrează cu contrapresiune la cilindri de înaltă presiune (de obicei doi), emisia trecînd printr-un rezervor, de unde se preia o parte din abur, restul lucrînd în cilindru de joasă presiune, ca și o **m. cu a.** cu condensație. Tipul constructiv este, de obicei, în tandem. Sistemul este foarte avantajos, cînd consumul de abur prelevat este mare (Fig. M.28).

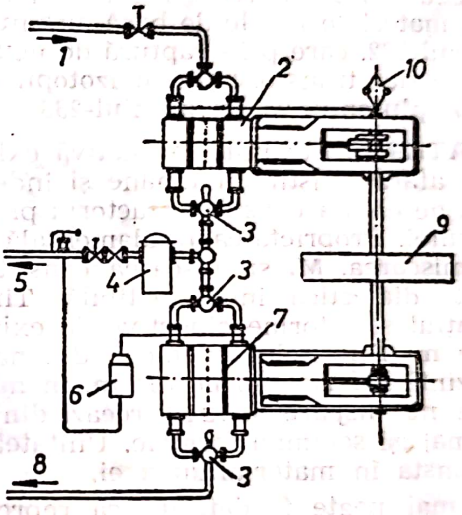


Fig. M.28. Mașină cu abur cu priză de abur:
1 — abur de la cazan; *2* — cilindru de înaltă presiune; *3* — supapă; *4* — rezervor; *5* — conducta de prize de abur; *6* — ventil de reglare a debitului de abur prelevat la priză; *7* — cilindru de joasă presiune; *8* — conductă de evacuare; *9* — volant; *10* — regulator de turație.

MAȘINA FRIGORIFICĂ. Mașină consumatoare de lucru mecanic, destinată producerii frigului artificial (v. Instalație frigorifică).

MAȘINĂ TERMICĂ. v. Motor termic

MATERIAL FISIONABIL. Izotopi care au proprietatea de a fisiona la absorbția în nucleu a neutronilor avînd orice energie. Există numai trei izotopi care au suficientă stabilitate pentru a permite depozitarea lor pe timp îndelungat, și anume: uraniul-233, uraniul-235 și plutoniul-239, izotopi fisionabili cu neutroni cu energii cuprinse între energia termică (neutroni lenți cu energii de ordinul 0,025 eV la 20°C) și energii ridicate (neutroni rapizi

cu energii de ordinul 10^6 eV). Dintre aceştia, uraniul-235 este singurul care apare în natură, în proporţie de 0,7%, restul fiind uraniul-238; ceilalţi doi izotopi fisionabili, uraniu-233 şi plutoniu-239, sînt produşi în mod artificial, respectiv din thoriu-232 şi uraniu-238, prin captură de neutroni, urmată de două trepte de dezintegrare radioactivă. Thoriul-232 şi uraniul-238 pot fisiona cu neutroni rapizi cu energie ridicată; aceşti izotopi nu fisionează cu neutroni cu energii sub 1 MeV, prezentînd fenomenul de captură de neutroni menţionaţi mai sus, fiind numite *materiale fertile*.

Acestea sînt materiale care nu fisionează cu neutroni termici şi care pot fi transformate în **m. f.**, proces care are loc, de regulă, într-un reactor nuclear. Există două materiale fertile de bază, uraniul-238 şi toriul-232, care prin captură de neutroni sînt parţial transformate în izotopii fisionabili: plutoniul-239 şi uraniul-233.

MATERIE. Realitatea obiectivă existentă în afara conştiinţei umane şi independentă de ea. Ea constituie factorul prim al existenţei. Proprietatea fundamentală a **m.** este mişcarea. **M.** şi mişcarea constituie o unitate dialectică indestructibilă. Timpul şi spaţiul sînt forme obiective de existenţă ale **m.** Diferitele fenomene din natură reprezintă diferite forme ale **m.** în mişcare. Ea nu dispare şi nu se creează din nou, ci numai îşi schimbă formele. Unitatea lumii constă în materialitatea ei.

M. mai poate fi definită ca reprezentînd o substanţă sau un material din care sînt formate organismele vii sau obiectele. **M.** se poate regăsi în următoarele tipuri:

M. activă, formată în urma proceselor electrochimice şi depusă pe electrozii acumulatorului electric de plumb, sau formată separat şi aplicată pe electrozi; ea întreţine fenomenul de încărcare şi de descărcare a acumulatoarelor;

M. fundamentală, substanţă cu caracter de gel din componenţa cărbunilor, obţinută prin degradarea pereţilor celulari ai plantelor şi în care se înglobează ţesuturile mai rezistente: epiderma, cuticula, polenul etc.;

M. primă, produs natural sau semifabricat, neprelucrat şi folosit la producerea de bunuri materiale, semifabricate şi piese finite;

M. volatilă, reprezentînd produsele degajate dintr-un combustibil solid prin încălzirea lui în spaţiu limitat, în atmosferă neutră sau reducătoare şi din care se scade apa datorată umidităţii sale. Rezultatul acestui proces este cocsul brut. Conţinutul procentual al **m.** volatile m_v, raportat la starea combustibilului iniţial, este:

$$m_v = \frac{m_1 - m_2}{m} \cdot 100 - x \quad [\%],$$

în care: m_1 şi m_2 reprezintă masa creuzetului cu capac şi a cărbunelui înainte, respectiv după determinare; m — masa cărbunelui iniţial; x — umiditatea cărbunelui, în procente.

Conţinutul de **m.** volatile reprezintă un criteriu de apreciere a gradului de carbonificare al unui combustibil;

M. colorantă, substanţă cu proprietatea de a colora corpurile, prin aderare la suprafaţa lor.

MAXWELL, James Clerk. Fizician scoţian (1831—1879). A fundamentat principiul zero al termodinamicii şi a introdus riguros noţiunea de temperatură.

MAYER, Robert Von. Fizician şi medic german (1814—1878). În 1842, a introdus în mod explicit, pentru prima oară, noţiunea de echivalenţă între căldură şi lucru mecanic şi a ridicat la rang de lege generală, aplicabilă fenomenelor termice, principiul conservării forţei vii din mecanică. În 1845, a calculat echivalentul J din căldurile specifice, cu relaţia $J(c_p - c_v) = p_0 v_0 \alpha$, unde α este coeficientul de dilatare a gazului.

MAZUT. v. Păcură

MĂRIME DE STARE (Sin.: **Parametru de stare**). Proprietate ce determină univoc starea unui sistem termodinamic sau a unui corp. În mod riguros, starea unui sistem poate fi precizată cu ajutorul **m. de s.** numai dacă există un echilibru intern în întregul sistem. **M. de s.** se referă la *starea macrofizică* a unui sistem, iar valoarea ei se determină prin măsurare (cu diferite metode) sau se calculează (cu ajutorul ecuaţiilor de stare). Ea caracterizează starea momentană a sistemului (sau corpului) şi nu depinde de drumul parcurs de acesta pînă în starea respectivă, adică de transformările intermediare suferite între timp pentru a ajunge în această stare. Deci, valoarea **m. de s.** este independentă de drumul transformărilor şi depinde numai de coordonatele care definesc starea respectivă. Din punct de vedere matematic, **m. de s.** este definită de funcţii de stare ce admit diferenţiale totale exacte, iar integrala curbilinie are totdeauna valoarea nulă. Dacă $z = f(x, y)$ reprezintă funcţia în

Scanned with OKEN Scanner

cauză, aceasta satisface următoarele condiții matematice simultane:

$$dz=\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y dx+\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_x dy;$$

$$\oint dz=0; \quad \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}=\frac{\partial^2 z}{\partial y \partial x}.$$

Variația finită a funcției de stare, între două stări oarecare de echilibru cunoscute, depinde numai de stările respective și nu de stările intermediare prin care trece sistemul, adică:

$$\Delta z=\int_1^2 dz=z_2-z_1.$$

Spre deosebire de numărul funcțiilor de stare care practic este nelimitat, numărul **m. de s.** este mic, starea sistemelor termodinamice la echilibru putînd fi descrisă cantitativ cu un număr relativ mic de proprietăți. Numărul **m. de s.** necesar pentru a defini *starea de echilibru* a unui sistem depinde de natura sistemului și este cu atît mai mare, cu cît structura acestuia este mai complexă. De exemplu, starea unui sistem omogen simplu poate fi definită numai de două **m. de s.**

M. de s. pot caracteriza starea exterioară (mecanică) în spațiu a sistemului, ele fiind denumite **m. de s. exterioare** (ex.: volumul) sau pot caracteriza starea internă (termodinamică) a sistemului, determinată de mișcarea interioară în ansamblu și de distribuția particulelor ce alcătuiesc sistemul, fiind denumite **m. de s. interne** (ex.: presiunea, temperatura).

M. de s. care depind de cantitatea de materie (proporționale cu masa sistemului) sînt denumite **m. de s. cantitative** sau **extensive** sau **aditive** (ex.: volumul V, energia internă U, entalpia I, entropia S), iar cele care nu depind de cantitatea de substanță sau mărimea sistemului și rămîn constante după divizarea sistemului se numesc **m. de s. intensive** (ex.: presiunea, temperatura). O **m. de s.** extensivă prin raportare la masa sistemului se comportă ca și o **m. de s.** intensivă și poartă denumirea de **m. de s. specifică** (ex.: volumul specific $v=V/m$; energia internă specifică $u=V/m$; entalpia specifică $h=H/m$; entropia specifică $s=S/m$).

M. de s. termice sînt **m. de s.** ce pot fi determinate direct prin măsurări, iar relațiile dintre ele sînt exprimate de legile fizicii (Boyle-Mariotte și Gay-Lussac) sau de ecuațiile termice de stare. Ele se mai denumesc **m. de s. fundamentale** și sînt constituite din presiune, volum și temperatură. Dintre acestea, doar temperatura este o mărime specifică, celelalte două fiind comune și altor discipline.

M. de s. calorice sînt **m. de s.** care variază direct prin intermediul schimbului de căldură și care pot fi determinate prin calcul, în funcție de **m. de s.** termice, cu ajutorul ecuațiilor calorice (ex.: energia internă, entalpia, entropia).

MECANISM BIELĂ-MANIVELĂ. Mecanism care realizează transformarea mișcării alternative de translație a unui piston în mișcare de rotație a unui arbore cotit, numit „manivelă". Acest mecanism (piston-bielă-manivelă) are multiple întrebuințări în domeniul termodinamicii (motoare cu ardere internă pentru autovehicule, nave sau utilizări staționare, motoare cu ardere externă — motorul cu abur, utilizat la locomotive).

Piciorul bielei și pistonul execută o mișcare alternativă de translație în același plan și imprimă o mișcare de rotație continuă manivelei, care este un arbore cotit, legat de bielă prin intermediul unui fus maneton (Fig. M.29).

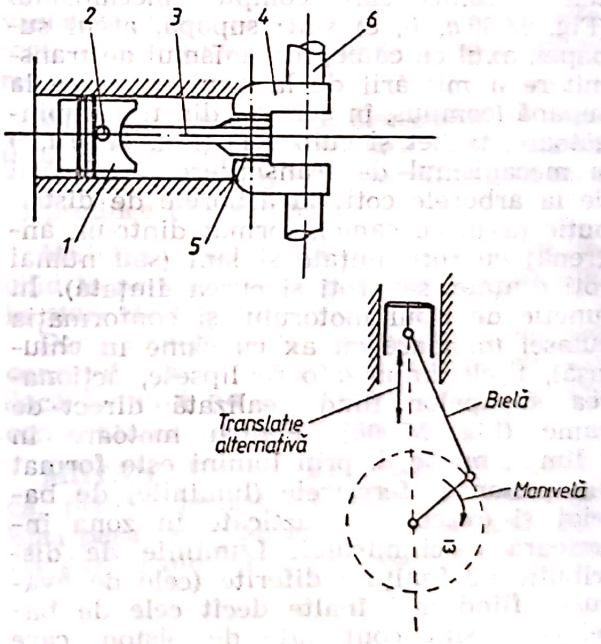


Fig. M.29. Mecanism bielă-manivelă:
1 — piston; *2* — ax piston; *3* — bielă; *4* — manivelă; *5* — fus maneton; *6* — fus palier.

M.b.-m. este supus solicitărilor multiple, cu frecvență variabilă, compresiunii, tracțiunii, flambajului (v. Arbore cotit). Deoarece acest mecanism este cea mai importantă verigă a lanțului cinematic motor, este necesar ca prin construcție să-i fie asigurată o fiabilitate ridicată. Acest lucru ține de alegerea materialelor,

Scanned with OKEN Scanner

a formei și dimensiunilor de proiectare ale mecanismului. Se folosesc, în funcție de domeniul utilizării mecanismului, aliaje de aluminiu sau fontă pentru piston, oțeluri carbon de calitate pentru bielă sau oțeluri înalt aliate, aliaje de fontă sau oțeluri pentru manivelă (arborele cotit).

MECANISM DE DISTRIBUȚIE.

M. de d. la motoare cu ardere internă reprezintă o componentă a sistemului de distribuție, care asigură deschiderea și închiderea periodică a orificiilor de admisie și evacuare ale cilindrilor astfel încît să permită intrarea în cilindri a amestecului proaspăt și evacuarea gazelor arse (v. Faze de distribuție).

După tipul de motor, se deosebesc:

— **m. de d. de tipul cu supape** pentru motoare în 4 timpi;

— **m. de d. prin lumini** pentru motoare în 2 timpi; distribuția este asigurată de mecanismul bielă-manivelă, prin intermediul pistonului (v. Ferestre de baleiaj). Există motoare în 2 timpi care utilizează distribuție combinată (prin lumini și prin supape).

În cazul **m. de d.** cu supape, elementele mecanice care compun mecanismul (Fig. M.30 *a*, *b*, *c*) sînt: supapa, arcul supapei, axul cu came, mecanismul de transmitere a mișcării de la axul cu came la supapă (compus, în general din tijă împingătoare, tachet și culbutor) (Fig. M.30 *a*, *c*) și mecanismul de transmitere a mișcării de la arborele cotit la arborele de distribuție (axul cu came), format dintr-un angrenaj cu roți dințate și lanț (sau numai roți dințate, sau roți și curea dințată). În funcție de tipul motorului și conformația culasei (motoare cu ax cu came în chiulasă), tijele împingătoare lipsesc, acționarea supapelor fiind realizată direct de came (Fig. M.30*b*). Pentru motoare în 2 timpi, **m. de d.** prin lumini este format din piston și ferestrele (luminile) de baleiaj și evacuare, practicate în zona inferioară a cilindrului. Luminile de distribuție au înălțimi diferite (cele de evacuare fiind mai înalte decît cele de baleiaj) și sînt controlate de piston, care îndeplinește astfel și rolul de sertar de distribuție. Schimbul de gaze arse cu gaze proaspete, la acest tip de distribuție, se face liber în prima perioadă și forțat în a doua perioadă, respectiv baleiajul gazelor de evacuare de către aerul proaspăt, care acționează ca un piston.

M. de d. pentru mașinile cu abur reprezintă ansamblul organelor care asigură atît funcționarea mașinii, cît și reglarea parametrilor ei. Distribuția permite și inversarea sensului de mers, cînd este necesar.

Organul principal al **m. de d.** este sertarul (plan sau cilindric), care deschide și închide intrarea (admisia) și ieșirea (emisia) aburului.

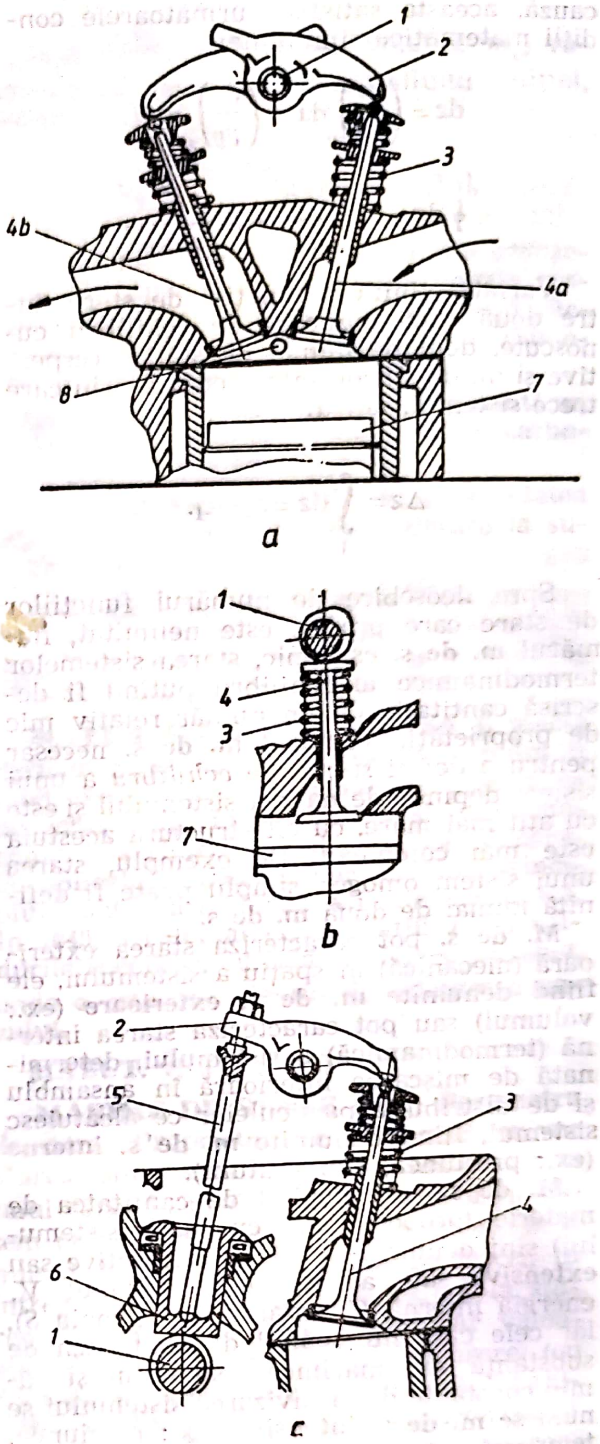


Fig. M.30. Distribuție cu supape la motoare: *1* — ax cu came; *2* — culbutor; *3* — arc supapă; *4a* — supapă de admisie; *4b* — supapă de evacuare; *5* — tijă de împingere; *6* — tachet; *7* — piston; *8* — bujie.

Scanned with OKEN Scanner

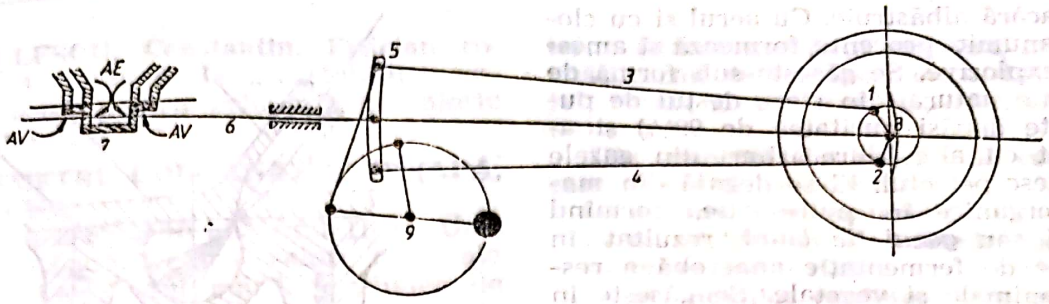


Fig. M.31. Distribuție Stephenson:
1–2 — excentrice; *3, 4* — tije de comandă; *5* — culisă; *6* — tijă de comandă sertar; *7* — sertar; *8* — arbore motor; *9* — tijă de inversare a sensului de rotație; *AV* — admisia aburului; *AE* — admisia aburului în cilindru.

Sertarul este acționat de mai multe tije ce sînt comandate de excentrice sau de o contramanivelă, fixată la arborele motor al mașinii cu abur.

M. de d. cele mai răspîndite sînt sistemele:

M. de d. cu excentrice (unul sau două), care comandă prin tije sertarul peste o culisă, (ex.: **m. de d.** Stephenson — Fig. M.31, Gooch sau Allan-Trick).

M. de d. cu contramanivelă, cum sînt: **m. de d.** Heusinger și variantele sale H.-Krauss Helmholtz; H.-Baker; H.-Gölsdorf; H.-Joy.

Aceste sisteme sînt prevăzute cu o culisă ce se poate ridica și coborî, stabilind astfel atît timpul de admisie al aburului în cilindri, precum și sensul de mers. Sertarele plane dau dificultăți de prelucrare cu uzuri importante, din cauza frecării mari, produsă de apăsarea aburului. Sertarele cilindrice au uzuri și frecări mult mai reduse, sînt echilibrate și se pot prelucra pe mașini de strunjit.

Diferitele sisteme ale **m. de d.** au fost concepute pentru perfecționarea mecanismului inițial Stephenson care necesită spațiu mare în înălțime și lateral prin deplasarea pieselor în două planuri, iar culisa cursă ca și excentricele dau complicații de execuție. **M. de d.** Heusinger are piesele într-un singur plan și necesită spațiu mai redus. Alte sisteme au căutat să înlocuiască culisa cu o pîrghie în unghi (Baker, Gölsdorf), să folosească culise lineare (Allan-Trick și Heusinger-Krauss Helmholz) sau preia mișcarea culisei de la două organe cu mișcare liniară (Young), avantaje obținute, de obicei, prin număr mare de piese și lungime mărită. În figura M.32 este prezentată distribuția tip Heussinger.

Pentru comanda mașinii cu abur, pe lîngă **m. de d.** care determină sensul de mers și gradul de umplere a cilindrului, este prevăzut în toate cazurile și un „regulator" (robinet de abur) cu deschidere variabilă, comandat manual, care permite reglarea presiunii de admisie prin laminarea aburului.

MEDIU. Ansamblul sistemelor și condițiilor fizico-chimice în care se găsește un corp (sau un sistem de corpuri) sau în care se produce un fenomen.

MENISC. Suprafața liberă a unui lichid la peretele vasului în care se găsește, în stare de repaus.

Dacă lichidul udă corpul solid, **m.** are concavitatea în exteriorul lichidului, iar dacă lichidul nu udă corpul solid, **m.** are convexitatea în exteriorul lichidului.

METAN. Hidrocarbură saturată aciclică, primul termen al seriei de hidrocarburi parafinice, alcanice sau saturate. Este un gaz incolor și inodor, care arde în aer

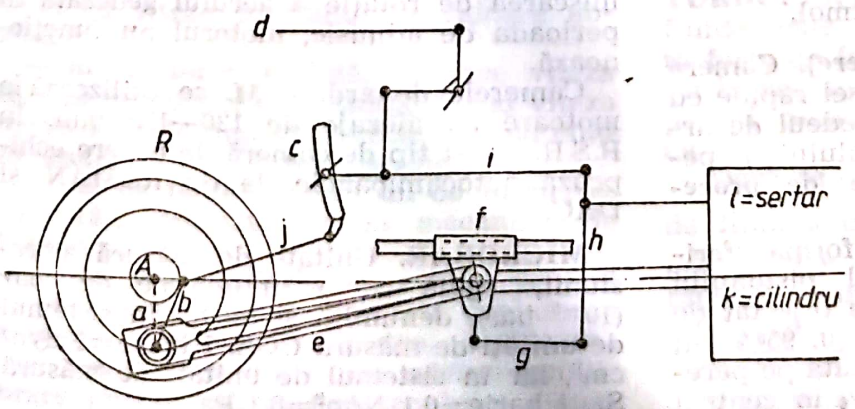


Fig. M.32. Distribuție Heussinger:
a — braț al manivelei; *b* — contramanivelă; *c* — culisă; *d* — pîrghii de comandă; *e* — bielă; *f* — cap de cruce; *g* — pîrghie de la capul de cruce; *h* — pîrghie intermediară; *i* — pîrghie pentru culisă; *j* — tijă pentru culisă; *R* — roată pe arborele motor.

Scanned with OKEN Scanner

cu o flacără albăstruie. Cu aerul și cu clorul, în anumite procente, formează și amestecuri explozive. Se găsește sub formă de zăcăminte naturale în stare destul de pură (poate depăși puritatea de 99%) și amestecat cu alte hidrocarburi din gazele ce însoțesc petrolul. El se degajă din materiile organice în putrefacție, formînd *biogazul* sau *gazul de baltă*, rezultat în procesele de fermentație anaerobă a resturilor animale și vegetale. Se găsește în proporție de 20—30% în *gazele de cocserie*, constituie *gazul grizu* din minele de cărbuni. Sursele principale de gaz metan sînt zăcămintele naturale.

M. este întrebuințat drept combustibil gazos cu putere calorifică mare (8 560 kcal/m³) și pentru fabricarea negrului de fum. Industria petrochimică valorifică superior gazul metan prin chimizare, fiind utilizat pentru obținerea amoniacului, acetilenei, metanolului, acidului cianhidric, aldehidei formice etc.

METANOL (Sin.: **Alcool metilic**). Primul din seria alcoolilor primari saturați. Este un lichid incolor, inflamabil, toxic, provocînd orbirea și, uneori, moartea chiar numai prin inhalarea vaporilor. Are punctul de fierbere la 64,5°C. Se obține industrial prin hidrogenarea catalitică a oxidului de carbon și prin distilarea uscată a lemnului (se izolează, mai întîi, amestecul de acetonă cu **m.**, numit *spirt de lemn*, din care se separă apoi **m.** pur în aparate cu coloană).

M. servește ca materie primă pentru fabricarea formaldehidei, a clorurii și a sulfatului de metil, în industria coloranților ca dizolvant, ca agent de denaturare a alcoolului etilic.

METRU CUB NORMAL [m^3_N]. Unitate de măsură pentru volumul unui kilomol sau a unui mol dintr-o substanță, la starea normală fizică. Pentru gazul perfect, este o constantă universală. Volumul normal al unui kilomol de gaz perfect aflat la presiunea de 760 mmHg și temperatura de 0°C este V_M=22,413 m^3_N/kmol.

MEURER (Cameră de ardere). Cameră de ardere pentru motoare diesel rapide cu injecție directă, utilizînd procedeul de ardere cu distribuția combustibilului în peliculă, cunoscut sub numele de **procedeul M.**

Camera de ardere **M.** are formă sferică, fiind practicată în capul pistonului (Fig. M.33). Combustibilul este injectat de un injector cu un singur orificiu. 95% din doza de combustibil este injectată pe peretele camerei de ardere, iar 5% în centrul

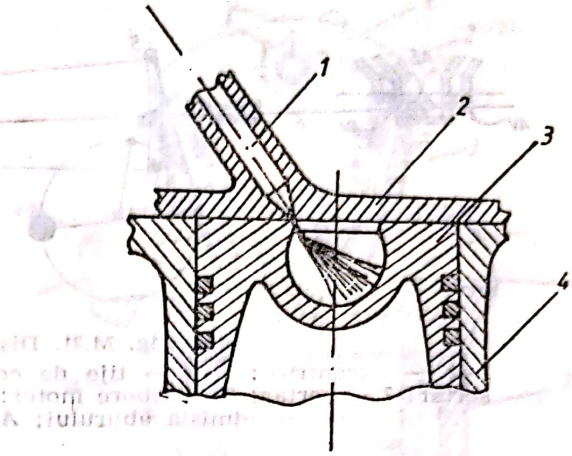


Fig. M.33. Cameră de ardere tip Meurer: *1* — injector; *2* — culasă; *3* — piston; *4* — cilindru.

camerei. Pelicula de combustibil formată prin impactul între jetul pulverizat și peretele camerei se încălzește datorită temperaturii ridicate a peretelui și se vaporizează treptat, amestecîndu-se cu aerul din camera de ardere. Combustibilul injectat în centrul camerei servește pentru autoaprindere. Un rol foarte important îl are mișcarea de rotație a aerului în camera sferică (Fig. M.34), care „aplică" pelicula

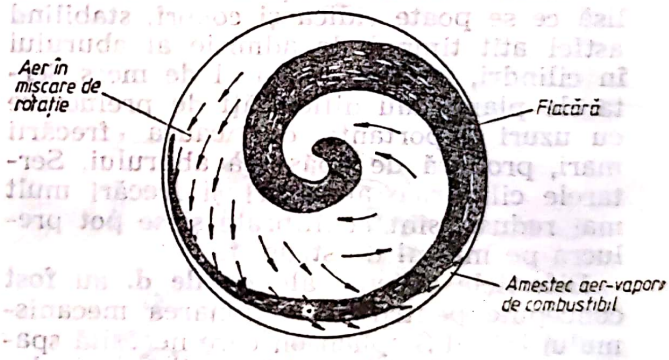


Fig. M.34. Schema formării amestecului în camera de ardere tip Meurer.

de combustibil pe întreaga suprafață a camerei de ardere (jetul fiind injectat în sensul mișcării de rotație a aerului). Fără mișcarea de rotație a aerului generată în perioada de admisie, motorul nu funcționează.

Camerele de ardere **M.** se utilizează la motoare cu alezaje de 120—125 mm. În R.S.R., acest tip de cameră de ardere echipează autocamioanele de tip ROMAN și DAC.

MICROBAR. Unitate de măsură a presiunii, egală cu o milionime de bar (10^{-6} bar), denumită și *barie*. În sistemul de unități de măsură CGS, 1 barie=1 dyn/cm², iar în sistemul de unități de măsură SI, 1 barie=0,1 N/m²=0,1 Pa.

Scanned with OKEN Scanner

MICULESCU, Constantin. Fizician român (1863—1937). În 1892, a stabilit o valoare precisă pentru echivalentul caloric al lucrului mecanic.

MILIMETRU COLOANĂ FLUID (APĂ, MERCUR)

Milimetru coloană apă [mm H_2O]. Unitate de măsură pentru valori mici ale presiunii. La nivelul mării, presiunea de o atmosferă tehnică corespunde unei apăsări exercitată de o coloană de apă cu înălțimea de 10 m pe o suprafață de 1 cm^2. În sistemul internațional de unități de măsură SI 1 mm H_2O=9,80665 N/m^2= 9,80665 Pa. Între mm Hg și mm H_2O există relația: 1 mm $H_2O=735{,}55\cdot10^{-4}$ mm Hg.

Milimetru coloană de mercur [mm Hg]. Unitate de măsură pentru presiune, egală cu presiunea exercitată de o coloană de mercur cu înălțimea de 1 mm, la temperatura de 0°C, la nivelul mării pe o suprafață de 1 cm^2 (1 mm Hg=1 torr). În sistemul de unități de măsură SI, 1 mm Hg= 133,322 N/m^2=133,322 Pa.

MIȘCARE. Pentru **m.** există următoarele definiții:

a) Orice schimbare suferită de materie (schimbarea în timp a poziției unui corp în raport cu un sistem de referință) și orice transformare a materiei. **M.** este modul de existență al materiei, ambele fiind veșnice. Ea nu se creează și nu se distruge. **M.** fără materie este de neconceput, ca și materia fără **m.**

b) Deplasarea unui corp față de un sistem de referință. Se deosebesc, din acest punct de vedere următoarele tipuri de **m.**:

— **m. absolută** — sistemul de referință inerțial este fix;

— **m. relativă** — sistemul de referință este mobil;

— **m. de antrenare, transport, tîrîre** — sistemul de referință mobil se mișcă față de un sistem fix.

Alte tipuri de **m.**, din punct de vedere mecanic (cinematic și dinamic):

— **m. uniformă,** efectuată fără accelerație, cu viteza constantă în valoare absolută;

— **m. uniform variată,** la care viteza variază proporțional cu timpul; cînd viteza crește, **m.** este uniform accelerată, iar cînd ea scade, este uniform întîrziată;

— **m. de înaintare** sau **m. de lucru** (secundară), efectuată de un mecanism de înaintare;

— **m. perturbatorie, m.** a unui vehicul în mers, care îi poate periclita deplasarea normală și chiar stabilitatea. Aceste **m.**, care pot proveni din cauze interne (echilibrare imperfectă, variația cuplului motor, jocuri funcționale etc.) sau din cauze externe (starea mediului ambiant, neregularitățile căii de transport etc.), sînt: tangajul, ruliul, girația, reculul, clătinarea, săltarea.

Din punctul de vedere al corpurilor care se mișcă, se deosebesc:

— **m. punctului material;**

— **m. sistemelor de puncte materiale;**

— **m. corpului rigid;**

— **m. mediilor continue,** care pot fi solide deformabile, fluide etc.

Pentru fluide sînt specifice și următoarele tipuri de **m.**:

— **m. liberă,** datorată diferenței de densitate dintre particulele calde și cele reci ale fluidului;

— **m. forțată,** efectuată sub acțiunea forțelor exterioare create de pompe, compresoare, ventilatoare etc.;

— **m. potențială (neturbionară),** efectuată fără rotația particulelor de fluid.

MIȘCAREA ALTERNATIVĂ A PISTONULUI. Mișcarea de translație pe care o execută pistonul unei mașini termice, alternativ, între punctul mort interior (p.m.i.) și punctul mort exterior al cilindrului (p.m.e.) (Fig. M.35).

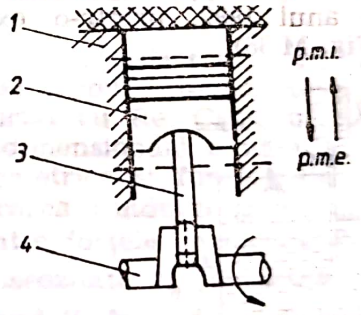


Fig. M.35. Mișcarea alternativă a pistonului:
1 — cilindru; *2* — piston; *3* — bielă; *4* — arbore.

MIȘCARE BROWNIANĂ. v. Browniană (Mișcare)

MIȘCARE LAMINARĂ; MIȘCARE TURBULENTĂ. Fluidele din natură sînt fluide reale, la curgerea cărora se exercită forțe de frecare vîscoasă atît între straturile vecine de fluid, cît și între fluid și pereții canalului sau conductei prin care curge.

Dacă se consideră două straturi vecine de fluid avînd vitezele $\vec{w}_1$ și $\vec{w}_2$ (în care $w_1>w_2$, iar $\Delta\vec{w}=\vec{w}_1-\vec{w}_2$), depărtate unul față de altul cu distanța Δy (direcția y este perpendiculară pe direcția de curgere a straturilor de fluid), atunci forța de frecare internă $\vec{F}$ care se exercită pe suprafața S de separație dintre cele două stra-

turi se exprimă cu ajutorul relației lui Newton pentru curgerea fluidelor vîscoase:

$$F = \eta \frac{\Delta \vec{w}}{\Delta y} S \quad [\mathrm{N}],$$

unde $\Delta \vec{w}/\Delta y$ este gradientul vitezei în direcție normală a direcției de curgere. Factorul de proporționalitate η poartă numele de *viscozitate dinamică* a fluidului, exprimată în $\mathrm{N \cdot s/m^2}$. Mărimea η este o proprietate fizică a fluidelor, care depinde de natura acestora, de presiune și de temperatură (la lichide η scade cu creșterea temperaturii, iar la gaze η crește cu mărirea temperaturii).

Viscozitatea cinematică ν se definește cu raportul:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad [\mathrm{m^2/s}],$$

unde ρ este densitatea fluidului $[\mathrm{kg/m^3}]$.

Cercetările experimentale au demonstrat că există două regimuri diferite de curgere a unui fluid real. Existența lor a fost pusă în evidență de fizicianul Reynolds, în anul 1883, printr-o experiență simplă (Fig. M.36).

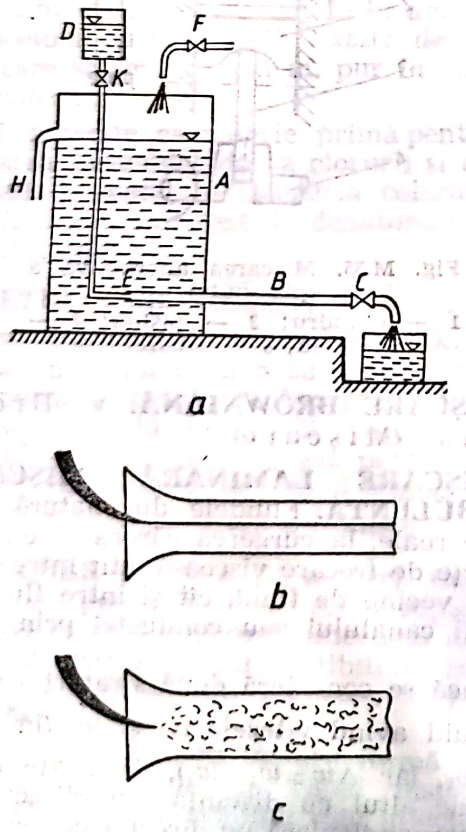


Fig. M.36. Experiența lui Reynolds: *a* — instalație experimentală; *b* — mișcare în regim laminar; *c* — mișcare în regim turbulent.

Se consideră un rezervor *A*, căruia i se atașează un tub orizontal *B* din sticlă, prevăzut cu un robinet *C* (Fig. M.36 *a*). Deasupra rezervorului *A* este instalat un recipient *D* care conține lichid colorat (care poate ajunge în tubul orizontal *B* prin intermediul tubului subțire *E*). Rezervorul *A* este umplut cu apă, de la robinetul *F*, pînă la un nivel care este menținut constant pe durata experienței, cu ajutorul deversorului *H*. Se deschide ușor robinetul *C* și se stabilește o curgere a apei din rezervorul *A*. Lichidul colorat din recipientul *D*, la deschiderea robinetului *K*, pătrunde prin intermediul tubului subțire *E* în interiorul tubului orizontal *B*. În tubul *B* se observă un fir colorat, rectiliniu, după direcția axului tubului. Se mărește treptat deschiderea robinetului *C* și se obține astfel o mărire a debitului și, deci, a vitezei de curgere a apei în tubul *B*. Se observă că la viteze de curgere nu prea mari, lichidul colorat se scurge sub forma unui fir subțire, fără să se amestece cu curentul de apă necolorată (Fig. M.36 *b*). La creșterea vitezei de curgere a apei, firul de lichid colorat începe să oscileze și să ia o formă sinuoasă. După aceea, în diferite porțiuni ale firului de lichid colorat încep să apară discontinuități și de la o viteză oarecare a apei, lichidul colorat se amestecă complet cu apă necolorată, răspîndindu-se în toată masa apei din tubul *B*, după traiectorii curbe, de formă complicată neregulată (Fig. M.36 *c*). În primul caz (Fig. M.36 *b*), mișcarea sau curgerea fluidului este denumită **curgere în regim laminar**, iar în al doilea caz (Fig. M.36 *c*), mișcarea sau curgerea fluidului este denumită **curgere în regim turbulent.**

În curgerea în regim laminar, fiecare particulă din fluid se deplasează în cadrul aceluiași strat, paralel cu suprafața peretelui și cu traseul celorlalte particule; curgerea se desfășoară în straturi paralele, fără transfer de particule între acestea.

În curgerea în regim turbulent, particulele individuale din fluid au o mișcare dezordonată, cu o direcție și o viteză de deplasare permanent variabilă; mișcarea are o viteză rezultantă, paralelă cu suprafața peretelui, dar suprapus peste aceasta există fluctuații continue de viteză care produc un transfer reciproc de particule între straturi.

Între cele două tipuri de bază există o **curgere în regim tranzitoriu,** în care o particulă din fluid are alternativ porțiuni de curgere laminară și turbulentă.

Dacă se măsoară viteza într-un punct dintr-un tub cilindric în care are loc **m.t.** a unui fluid, se constată existența *pulsațiilor spațiale ale vitezei* în jurul unei va-

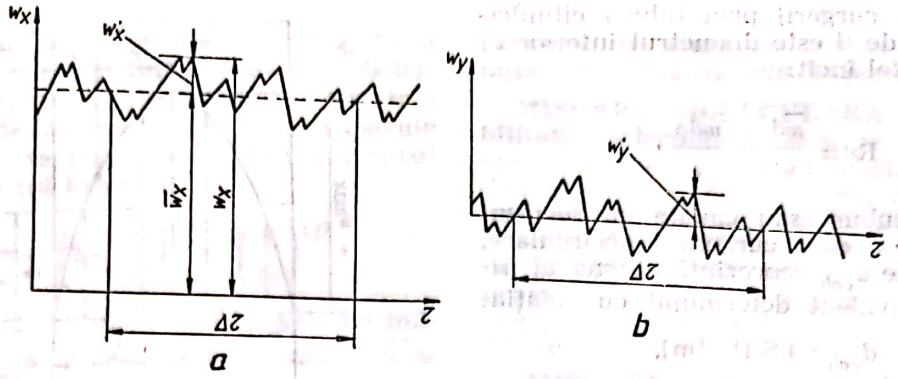


Fig. M.37. Fluctuaţiile vitezei la curgerea în regim turbulent:
a — după direcţia de curgere; *b* — după normala la direcţia de curgere.

lori medii. În figura M.37 sînt reprezentate, în funcţie de timp, pulsaţiile vitezei $\vec{w}$ după direcţia principală de curgere x (în lungul tubului) şi după normala y la aceasta. La **m.t.**, *viteza instantanee* poate fi considerată ca suma unei viteze medii temporale şi a unei pulsaţii de viteză. Astfel, după direcţie x (Fig. M.37 *a*), respectiv, după direcţia y (Fig. M.37 *b*), se poate scrie:

$$w_x=\overline{w}_x+w'_x;\quad w_y=\overline{w}_y+w_y.$$

Vitezele medii temporale (notate cu bară) au expresiile:

$$\overline{w}_x=\frac{1}{\Delta\tau}\int_0^{\Delta\tau} w_x\,d\tau;\qquad \overline{w}_y=\frac{1}{\Delta\tau}\int_0^{\Delta\tau} w_y\,d\tau,$$

unde $\Delta\tau$ este intervalul de timp pe care se face medierea.

Raportul dintre viteza medie de pulsaţie şi viteza medie de transport se numeşte **grad de turbulenţă.**

Într-o mişcare în regim permanent, se constată că într-un punct oarecare viteza medie temporală $\overline{w}_x=\text{const}$, iar viteza medie în direcţie normală $\overline{w}_y=0$ (întrucît nu există o curgere continuă către sau de la peretele tubului). Ca valoare absolută, *pulsaţia vitezei* după direcţia curgerii este cuprinsă între 2 şi 30% din valoarea vitezei medii temporale respective. Pulsaţiile transversale sînt de aproximativ acelaşi ordin de mărime ca cele longitudinale pentru puncte nu prea îndepărtate de axa conductei, scăzînd către perete, unde sînt anulate de prezenţa acestuia.

Existenţa pulsaţiilor transversale face ca particulele de fluid să fie deplasate perpendicular pe direcţia de curgere; împreună, pulsaţiile axiale şi cele transversale ale vitezei generează **m.t.**, respectiv formarea vîrtejurilor şi a **mişcării de amestec.**

M.t. este atît de complicată în mecanismul intim de producere, încît nu poate fi descrisă exact analitic. Efectele turbulenţei asupra desfăşurării mişcării şi asupra comportării fluidului sînt însă foarte importante. Rezultatele mişcării pulsatorii echivalează cu o creştere de 10^2—10^3 ori a viscozităţii, ceea ce produce majorarea rezistenţei hidraulice la **m.t.** a fluidelor prin ţevi şi canale.

Pentru caracterizarea curgerii unui fluid a fost propus criteriul Reynolds, notat prescurtat cu Re. Criteriul Re este o grupare adimensională a unor proprietăţi fizice, geometrice şi funcţionale care descriu mişcarea fluidului şi reprezintă raportul dintre forţele de inerţie F_{in} şi forţele de viscozitate F_η, raportate la volumul de fluid V. Notînd cu m debitul masic de fluid, a — acceleraţia, ρ — densitatea fluidului, τ — timpul şi, ţinînd seama de relaţia lui Newton, în care s-a înlocuit $\Delta w/\Delta y$ cu dw/dy, se obţine următoarea expresie pentru criteriul Reynolds:

$$\mathrm{Re}=\frac{F_{in}/V}{F_\eta/V}=\frac{ma/V}{\eta\frac{S}{V}\frac{dw}{dy}}=\frac{\rho\frac{dv}{d\tau}}{\frac{\eta}{l}\frac{dw}{dy}}=$$

$$\frac{\rho\frac{dv}{d\tau}l}{\eta}=\frac{\rho\overline{w}l}{\eta}=\frac{\overline{w}l}{\nu}.$$

În relaţie, acceleraţia $a=dw/d\tau$ reprezintă variaţia vitezei în unitatea de timp, $l=V/S$ este o lungime caracteristică a curgerii, iar $\overline{w}=dy/d\tau$ este viteza medie a fluidului.

În cazul curgerii prin tuburi cilindrice, $l=d$, unde d este diametrul interior al tubului, astfel încît:

$$\mathrm{Re}=\frac{\overline{w}d}{\nu}=\frac{\overline{w}d\rho}{\eta}.$$

Pentru tuburi sau canale cu secțiuni transversale de curgere necirculare, $l=d_{ech}$, unde d_{ech} reprezintă *diametrul hidraulic* echivalent determinat cu relația:

$$d_{ech}=4\,S/P \quad [\mathrm{m}],$$

în care S este aria secțiunii transversale de curgere [m²], iar P — perimetrul udat de fluid [m].

În funcție de valoarea criteriului Re, se deosebesc următoarele trei regimuri de curgere printr-un tub cilindric sau canal:

— regim laminar, cînd $0<\mathrm{Re}<2\,320$;

— regim de tranziție, cînd $2\,320<\mathrm{Re}<4\,000$ (10 000);

— regim turbulent, cînd $\mathrm{Re}>4\,000$ (10 000).

Valoarea $Re_{crit}=2\,320$ reprezintă **numărul Reynolds critic,** care separă **m.l.** pură de mișcarea de tranziție și de **m.t.** Criteriului Re_{crit} îi corespunde o anumită **viteză critică,** w_{crit}. La fluidele foarte vîscoase (uleiuri, păcură), viteza de curgere este mai mică decît w_{crit}, iar mișcarea este, de obicei, laminară. La fluidele puțin vîscoase (apă, abur, gaze), viteza de curgere este mai mare decît w_{crit} și mișcarea este, de regulă, turbulentă. Regimul turbulent este stabilizat după unii cercetători pentru $\mathrm{Re}>4\,000$, iar după alții pentru $\mathrm{Re}>10\,000$. **M.t.** este cea mai răspîndită în aplicațiile tehnice; pe de o parte, în procesele de vehiculare a fluidelor, cu creșterea vitezei se micșorează diametrul conductelor de transport și deci costul acestora, iar, pe de altă parte, în procesele de transfer de căldură odată cu creșterea valorii criteriului Re se intensifică turbulența în fluide și se mărește valoarea coeficienților de schimb de căldură.

La curgerea unui fluid paralel cu o placă plană, trecerea de la regimul laminar la cel turbulent se face la $\mathrm{Re}_{crit}\approx 5\cdot 10^5$. În cazul unui cilindru parcurs transversal de un fluid, $\mathrm{Re}_{crit}\approx 2\cdot 10^5$ reprezintă valoarea critică a criteriului Re care separă curgerea laminară de cea turbulentă.

Un alt element care este afectat de regimul de mișcare a fluidului (laminar sau turbulent) îl constituie profilul sau distribuția vitezei fluidului. În figura M.38 se prezintă profilul vitezei la curgerea unui fluid printr-o conductă cu diametrul $d=2r_0$.

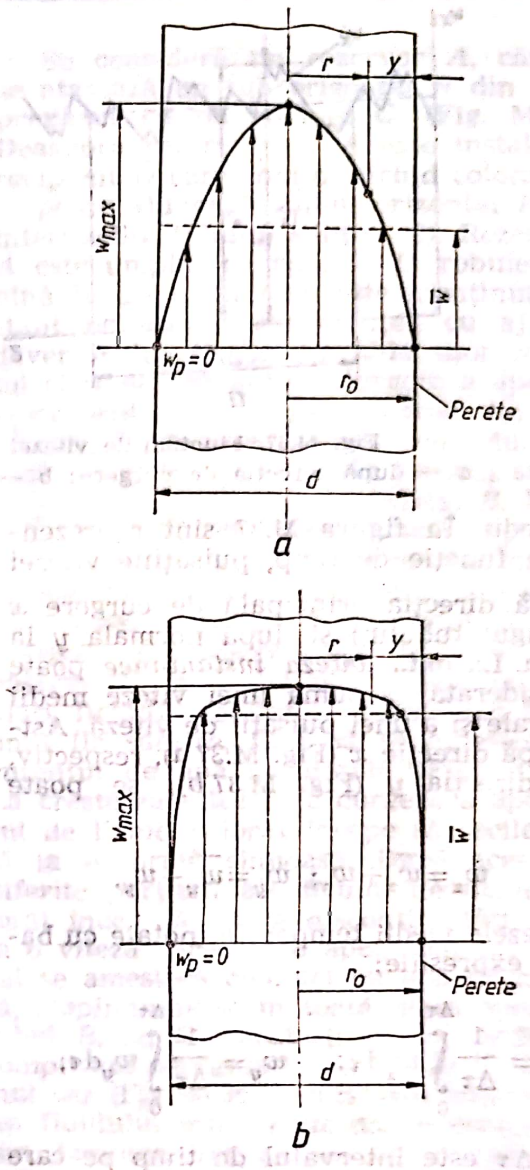


Fig. M.38. Profilul vitezei de curgere a unui fluid printr-o conductă:
a — la curgerea în regim laminar; *b* — la curgerea în regim turbulent.

În regim stabilizat de m.l. (Fig. M.38*a*), distribuția vitezei este parabolică de forma:

$$w=w_{max}\left[1-4\left(\frac{r}{d}\right)^2\right]=w_{max}\left[1-\left(\frac{r}{r_0}\right)^2\right],$$

unde w este viteza locală a fluidului la distanța r de axa tubului sau la distanța $y=r_0-r$ de peretele tubului, iar w_{max} — viteza maximă realizată în axa tubului. Se demonstrează că viteza medie w este jumătate din valoarea vitezei maxime: $\overline{w}=0{,}5\ w_{max}$.

În **regim stabilizat de m.t.** (Fig. M.38 *b*), la nivelul cunoștințelor actuale, distribuția vitezei nu poate fi descrisă printr-o relație matematică exactă. Pentru calcule orientative, se poate folosi formula aproximativă a lui Prandtl:

$$\frac{w}{w_{max}} = \left(1 - \frac{r}{r_0}\right)^{1/7} = \left(\frac{y}{r_0}\right)^{1/7},$$

unde $r_0 = d/2$, iar $y = r_0 - r$ este distanța măsurată de la perete. Viteza medie $\overline{w} \approx 0{,}84\, w_{max}$.

Pentru calcule mai precise este propusă relația lui Altșul:

$$\frac{w}{w_{max}} = \left(-1\frac{r}{r_0}\right)^{0{,}9\sqrt{f}} = \left(\frac{y}{r_0}\right)^{0{,}9\sqrt{f}},$$

în care f este coeficientul de frecare liniară la curgerea fluidului prin conductă *(coeficientul lui Darcy)*. Raportul dintre viteza maximă și viteza medie este, în acest caz:

$$\frac{w_{max}}{\overline{w}} = 1 + 1{,}35\sqrt{f}. \qquad (11)$$

Este important de reținut că, în **m.t.** datorită pulsațiilor vitezei, profilul vitezei tinde către o distribuție uniformă.

În modelele mai complexe ale curgerii turbulente, zona de lîngă perete este concepută ca fiind alcătuită din trei straturi (Fig. M.39): un **substrat laminar** (vîscos), adiacent peretelui, un **substrat de tranziție (amortizor)** intermediar și zona exterioară **a substratului turbulent**; în figură, w_∞ este viteza fluidului la distanță suficient de mare de perete, în așa-numita *zonă neperturbată* de perete.

MIȘCARE MOLECULARĂ. (Sin.: **Mobilitate moleculară**). Mișcare pe care o prezintă moleculele unei substanțe și care depinde de starea de agregare. În stare gazoasă și lichidă, moleculele posedă mișcare de translație, rotație și vibrație, iar în stare solidă, numai mișcare de vibrație în jurul unor poziții fixe de echilibru cu o frecvență de 10^{13}—10^{14} vibrații/sec.

MIȘCARE PERMANENTĂ; MIȘCARE NEPERMANENTĂ. Tipuri de mișcare a fluidelor reale, la care parametrii locali ai fluidului sînt constanți în timp **(m.p.)** sau variază în timp **(m.n.)**.

Studiul mișcării unui fluid constă în determinarea traiectoriilor, a vitezelor și accelerațiilor particulelor de fluid. Acest studiu se poate face în două moduri diferite.

O metodă de determinare a elementelor cinematice ale particulelor de fluid, **metoda Lagrange,** constă în studierea mișcării fiecărei particule a fluidului, raportată la un sistem de axe fix *Oxyz*. Poziția particulei la un moment dat depinde de timpul τ și de poziția inițială la timpul τ_0 (definită de coordonatele x_0, y_0, z_0). Prin măsurarea timpului parcurs de particulă pe traiectoria sa în unitatea de timp, se determină viteza, iar prin calcularea variației vitezei în unitatea de timp, se obține accelerația. Această metodă de studiu a mișcării unui fluid este identică cu metoda de studiu a mișcării unui sistem de puncte materiale.

O altă metodă de studiere a mișcării unui fluid, **metoda Euler,** constă în stu-

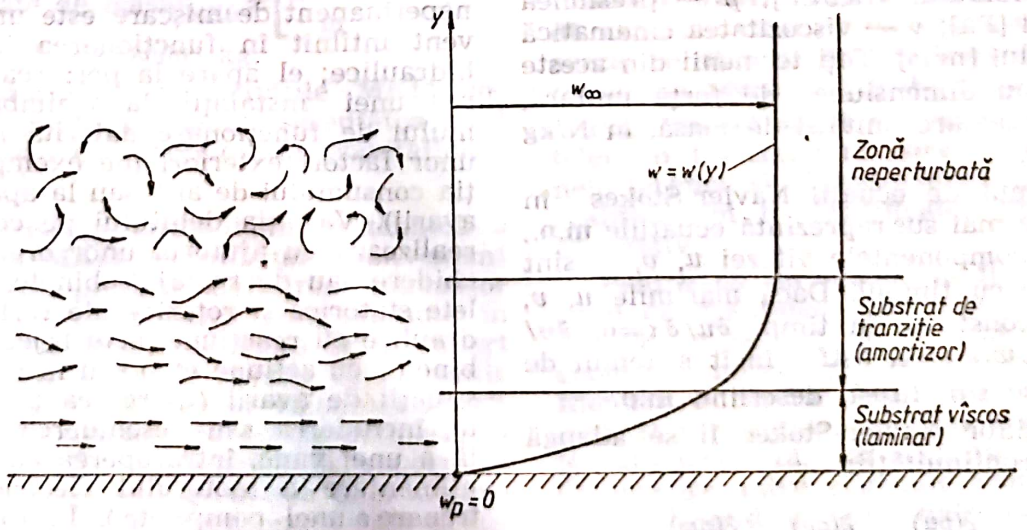


Fig. M.39. Structura curgerii în regim turbulent și profilul vitezei în stratul limită turbulent.

dierea elementelor mișcării tuturor particulelor care trec printr-un punct fix în spațiu, raportat prin coordonatele sale x, y, z la un triedru fix $Oxyz$, cînd timpul τ variază. Viteza și accelerația particulelor de fluid care trec printr-un același punct fix sînt funcții de coordonatele x, y, z și de timpul τ. Sistemul de reprezentare al lui Euler este, în general, mai comod de aplicat și de aceea este cel mai des utilizat în practică.

Ecuațiile de mișcare ale unui fluid real, vîscos, incompresibil, sînt date de **ecuațiile Navier-Stokes**, valabile atît pentru curgerea în regim laminar, cît și pentru curgerea în regim turbulent:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}=g_x-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\nu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right);$$

$$\frac{\partial v}{\partial \tau}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}=g_y-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+\nu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right);$$

$$\underbrace{\frac{\partial w}{\partial \tau}}_{\text{Forța unitară locală de inerție}}+\underbrace{u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}}_{\text{Forța unitară convectivă de inerție}}=\underbrace{g_z}_{\text{Forța unitară masică}}-\underbrace{\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}}_{\text{Forța unitară de presiune}}+\underbrace{\nu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right)}_{\text{Forța unitară de viscozitate}}.$$

Forțele unitare de inerție — Forțele unitare exterioare

În aceste ecuații, u, v și w reprezintă proiecțiile vitezei pe axele de coordonate, respectiv, x, y și z [m/s]; τ — timpul [s]; g_x, g_y, g_z — proiecțiile accelerației gravitației pe axele x, y, z [m/s^2]; ρ — densitatea fluidului [kg/m^3]; p — presiunea fluidului [Pa]; ν — vîscozitatea cinematică a fluidului [m^2/s]. Toți termenii din aceste ecuații au dimensiunea de forță unitară, corespunzătoare unității de masă, în N/kg sau m/s^2.

Sistemul de ecuații Navier-Stokes în forma de mai sus reprezintă ecuațiile **m.n.**, în care componentele vitezei u, v, w sînt variabile cu timpul. Dacă mărimile u, v, w sînt constante în timp, $\partial u/\partial \tau=0$, $\partial v/\partial \tau=0$, $\partial w/\partial \tau=0$, astfel încît sistemul de ecuații se simplifică, descriind **m.p.**

Ecuațiilor Navier-Stokes li se adaugă **ecuația continuității:**

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau}+\frac{\partial(\rho u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho v)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho w)}{\partial z}=0,$$

care reprezintă aplicarea principiului conservării masei la curgerea unui fluid. În **m.p.** $\partial \rho/\partial \tau=0$, iar în **m.n.** $\partial \rho/\partial \tau\neq 0$.

Un exemplu de **m.p.** îl constituie cazul scurgerii dintr-un rezervor în care lichidul păstrează un nivel constant. În acest caz, vitezele lichidului în diferite puncte sînt constante în timp, cu toate că diferă de la un punct la altul atît ca mărime, cît și ca direcție. Un alt exemplu de **m.p.** îl reprezintă curgerea fluidelor cu viteză constantă prin conducte sub presiune.

Golirea unui rezervor în care nivelul lichidului coboară continuu în timp, iar vitezele își schimbă valoarea și direcția în toate punctele lichidului este un exemplu de **m.n.** Datorită modificării vitezelor, în **m.n.** forma liniilor de curent variază.

Dintre **m.n.** în conductele sub presiune, cele mai importante din punctul de vedere al aplicațiilor practice sînt **m.n.** ale lichidelor (în general, apa). Regimul nepermanent de mișcare este un caz frecvent întîlnit în funcționarea instalațiilor hidraulice; el apare la pornirea sau oprirea unei instalații, la schimbarea regimului de funcționare datorită modificării unor factori exteriori (de exemplu, variația consumului de apă sau la apariția unei avarii). Variația debitului pe conducte se realizează cu ajutorul unor organe de închidere sau de reglaj (robinete, vane, palete statorice și rotorice ale turbinelor hidraulice cu reacțiune, acul injector al turbinelor cu acțiune etc.) sau în timpul unor situații de avarii (spargerea unei conducte, închiderea sau deschiderea accidentală a unei vane, întreruperea curentului de alimentare a motorului electric, de antrenare a unei pompe etc.). În timpul **m.n.** sub presiune, pot apare solicitări mecanice mari de instalații hidraulice datorită

suprapresiunilor, care pot depăși de cîteva ori (chiar zeci de ori) presiunea normală din starea de regim permanent. Dintre **m.n.** în conducte sub presiune, mai importante sînt: lovitura de berbec (șocul hidraulic), oscilațiile în masă și mișcările sonice.

Ecuațiile de mișcare a unui fluid (ecuațiile Navier-Stokes și ecuația de continuitate) pot fi rezolvate analitic, obținînd o soluție exactă doar pentru mișcarea laminară și pentru corpuri geometrice simple (curgerea unui fluid printr-un cilindru sau peste o placă plană). În cazul mișcării turbulente, cu toate eforturile făcute, mecanismul procesului fizic este insuficient cunoscut pentru a fi descris în limbaj matematic.

MKfs. Simbolizare utilizată pentru definirea sistemului de unități de măsură a cărui unități fundamentale sînt: metrul — pentru lungimi, kilogramul-forță — pentru forțe, secunda — pentru timp. Are aplicație restrînsă la domeniul mecanic și termodinamicii tehnice, purtînd și denumirea de **sistemul mecanic de unități de măsură.** Unitatea de forță este variabilă cu latitudinea și altitudinea. Nu poate fi extins în electromagnetism coerent cu unitățile practice electrice. Este încă parțial tolerat în unele ramuri mecanice ale tehnicii și tinde să fie înlocuit cu sistemul SI.

Kilogramul-forță reprezintă valoarea forței egală cu greutatea prototipului internațional de masă măsurată în vid, la accelerația normală a căderii libere $g_n = 9{,}80665\ m/s^2$.

În **MKfs** masa devine o mărime derivată a cărei unitate rezultă din raportul forței și accelerației.

$$(\text{Unitate de masă})_{MKfs} = \left[\frac{kgf \cdot s^2}{m}\right]$$

$1\ kgf \cdot s^2/m = 9{,}80665\ kg.$

Transformările în unitățile **MKfs** corespund greutății normale (greutatea unui corp pentru care accelerația gravitațională este g_n).

Folosirea în termodinamica tehnică a sistemului **MKfs** prezintă un inconvenient în ceea ce privește definirea mărimilor specifice care în fizică sînt estimate în raport cu unitatea de masă și în raport cu unitatea de forță. Pentru ca mărimile specifice să aibă aceeași valoare numerică ca și în sistemul SI ele se definesc, în sistemul **MKfs,** impropriu, în raport cu greutatea, deoarece greutatea unei anumite cantități de substanță, exprimată în kilograme-forță, este egală numeric cu masa exprimată în kilograme. Dacă în sistemul **MKfs** s-ar menține aceeași definiție a mărimilor specifice, valorile numerice ale acestora ar fi de 9,80665 ori mai mici decît cele măsurate în unitățile sistemului SI.

Exemple de unități de măsură pentru diferite mărimi în sistemul **MKfs.**

— Densitate ρ [kgf, s^2/m^4] $1\ kgf \cdot s^2/m^4 = 9{,}80665 \cdot 10^5\ kg/m^3$

— Presiune p [kgf/m^2] $1\ kgf/m^2 = 9{,}80665\ Pa$ $1\ mm\ H_2O$.

— Lucru mecanic, energie mecanică (cinetică, potențială) [$kgf \cdot m$] $1\ kgf \cdot m = 9{,}80665\ J = 2{,}343\ cal = 2{,}72411 \cdot 10^{-3}\ W.h$

— Putere [$kgf \cdot m/s$] $1\ kgf \cdot m/s = 9{,}80665\ W = 1/75\ CP$

— Vîscozitate cinematică [m^2/s] $1\ m^2/s = 10^4\ st$

— Căldură specifică (raportată la greutate și nu la masă ca în SI) [$kgf \cdot m/kgf \cdot grd$] și [$kcal/kgf \cdot grd$] $1\ kcal/(kgf \cdot grd) = 426{,}45\ kgf \cdot m/(kgf \cdot grd)$.

— Căldură molară (raportată la greutatea unui kilomol și nu la masa unui kilomol ca în SI) [$kgf \cdot m/(kmol \cdot grd)$] și [$kcal/(kmol \cdot grd)$] $1\ kcal/(kmol \cdot grd) = 426{,}45\ kgf \cdot m/(kmol \cdot grd)$.

MKs. Simbolizare utilizată pentru definirea sistemului de unități de măsură a cărui unități fundamentale sînt: metrul pentru lungimi, kilogramul pentru masă, secunda pentru timp. Are unități practice geometrice și mecanice (cu excepția unităților de forță și presiune a căror valori sînt mici) și se poate extinde în electromagnetism, în mod coerent cu toate unitățile practice. Se suprapune cu sistemul internațional actual de unități de măsură (SI), cele trei unități fundamentale (m, kg, s) fiind și printre unitățile sistemului internațional (v. Sisteme de unități de măsură).

MODELARE (Sin.: **Similitudine**). Metodă experimentală de cercetare, care se bazează pe studiul fenomenelor pe modele reduse la scară, ale instalațiilor reale.

Prin **model simil** cu realitatea se înțelege o instalație în care toate fenomenele termice și hidrodinamice ce au loc în realitate pot fi identificate calitativ și cantitativ.

Pentru ca un model să fie considerat simil cu realitatea, este necesar ca fenomenele ce au loc să fie exprimate prin ecuații calitativ și cantitativ identice. Identitatea acestor fenomene nu necesită, însă, și identitatea valorilor mărimilor ce le caracterizează, dar nici nu le exclude. Ca urmare, între mărimile geometrice ale corpului solid și cele hidrodinamice și termofizice ale fluidului în contact cu modelul, notate cu indicele 2 și cele din rea-

Scanned with OKEN Scanner

litate, notate cu indicele 1, va exista o proporționalitate definită de o constantă de similitudine k_i, a cărei valoare nu este obligatoriu să fie egală cu 1; astfel vor exista relațiile de legătură:

$$\rho_2 = k_\rho \cdot \rho_1;\ \eta_2 = k_\eta \cdot \eta_1;\ t_{p2} = k_t \cdot t_{p1};$$

$$t_{f2} = k_f \cdot t_{f1};\ w_2 = k_w\ w_1 \ldots,$$

unde constanta k_i este constanta de similitudine a unei mărimi caracteristice i, a cărei valoare nu trebuie să fie aceeași pentru toate mărimile, ci vor trebui alese astfel, încît fenomenele să fie aceleași și rezultatele numerice identice. În cazul cînd valoarea constantei ar fi aceeași pentru toate mărimile, s-ar realiza o machetă la scară a utilajului, dar nu un model simil.

Teoria similitudinii se bazează pe trei teoreme, și anume:

— **prima teoremă a similitudinii** afirmă că, dacă două fenomene fizice sînt asemenea, atunci valorile criteriilor de similitudine omoloage sînt identice;

— **a doua teoremă a similitudinii** afirmă că, soluția integrală generală a unui sistem de ecuații (algebrice, diferențiale, integrale sau integro-diferențiale) ce corespunde unui grup de fenomene asemenea se poate exprima printr-o relație între mărimi adimensionale, numite criterii de similitudine;

— **a treia teoremă a similitudinii** afirmă că, pentru ca două fenomene fizice să fie simile, este necesar ca criteriile de similitudine omoloage să fie egale.

Una din aplicațiile importante ale teoriei similitudinii o constituie determinarea relațiilor teoretice de calcul ale coeficientului de căldură prin convecție. Pe baza teoriei similitudinii, toate ecuațiile ce descriu fenomenul de schimb de căldură prin convecție, pot fi exprimate ca o funcție de criterii de similitudine (v. și Criteriu adimensional, vol. I). sau:

$$f(\mathrm{Nu}, \mathrm{Fo}, \mathrm{Pr}, \mathrm{Re}, \mathrm{Gr}, \mathrm{Ga}, \ldots) = 0$$

sau:

$$\mathrm{Nu} = C \cdot \mathrm{Fo}^l \mathrm{Pr}^m \mathrm{Re}^n \mathrm{Gr}^o \mathrm{Ga}^p \ldots$$

unde constanta C și exponenții l, m, n, o, p, ... se determină pe cale experimentală.

MODERATOR. Material folosit într-un reactor nuclear pentru încetinirea neutronilor rapizi (cu energie și viteză mare) produși prin fisiune, mărind astfel probabilitatea fisiunilor următoare. Încetinirea neutronilor poate fi realizată prin ciocnirea succesivă a acestora de atomii diverselor materiale.

Vizualizarea acestui proces se poate face printr-o analogie simplă. Dacă o bilă de biliard A, în repaus, este lovită de o bilă de biliard B în mișcare, o parte din energia cinetică a lui B va fi transferată lui A. La limită, cînd ciocnirea este centrică, B poate ajunge în repaus, transferînd lui A întreaga energie și imprimîndu-i viteza pe care B a avut-o înainte de ciocnire. Dacă însă bila de biliard B în mișcare lovește o bilă de popice C, în repaus, se constată că lui C i se transferă foarte puțină energie cinetică, bila B deplasîndu-se după ciocnire în noua direcție cu o energie cinetică doar puțin micșorată. Din cele de mai sus, se observă că atomii elementelor ușoare sînt cei mai buni **m.** Trebuie adăugat faptul, care constituie un dezavantaj major, că uneori ciocnirea dintre un neutron și un atom se poate termina prin absorbția neutronului în nucleul atomului. Probabilitatea interacțiunii neutron-atom sub formă de ciocnire sau absorbție este măsurată cu ajutorul unei suprafețe de reacție denumită *secțiune eficace microscopică de reacție* (de ciocnire σ_s sau absorbție σ_a), a atomului, exprimată în barn (1 barn $= 10^{-24}$ cm^2).

Materialele **m.** cele mai bune se aleg din elementele cu masă mică, cu probabilitate de ciocnire mare și cu tendință de absorbție a neutronilor cît mai redusă. Cele mai folosite **m.** sînt: apa ușoară ($\sigma_s = 49$ barn, $\sigma_a = 0{,}66$ barn), apa grea ($\sigma_s = 10{,}5$ barn, $\sigma_a = 0{,}026$ barn), beriliul metalic, oxidul de beriliu, grafitul. Cel mai bun **m.** este apa grea (D_2O), obținută la prețuri foarte ridicate, care permite realizarea de reactoare nucleare cu uraniu natural (0,7% uraniu-235, restul uraniu-238). Apa ușoară (H_2O) nu poate fi folosită ca **m.** cu uraniul natural, ci numai cu uraniu îmbogățit.

MOL. Cantitate de substanță a cărei masă, exprimată în grame, este numeric egală cu masa moleculară a substanței (1 mol = 1 moleculă-gram). În sistemul de unități de măsură SI se folosește ca unitate fundamentală pentru cantitatea de substanță kilomolul (1 kmol $= 10^3$ mol).

MOLECULĂ. Cea mai mică parte materială dintr-o substanță, care mai păstrează proprietățile chimice și compoziția procentuală a substanței respective. **M.** sînt formate din mai mulți atomi identici (substanțe simple) sau diferiți (substanțe compuse). Atomii sînt legați în **m.** prin legături chimice. Legăturile chimice pot fi: *covalente*, *coordinative* sau *electrovalente*. **M.** substanțelor simple (elementelor),

Scanned with OKEN Scanner

aflate în stare gazoasă în condiții normale, sînt biatomice: hidrogen H_2, oxigen O_2, azot N_2, clor Cl_2 etc., excepție făcînd gazele inerte: heliul He, neonul Ne etc., care sînt monoatomice. Substanțele gazoase compuse, ca de exemplu amoniacul NH_3, au molecula formată din mai mulți atomi. Pentru a stabili structura unei **m.** trebuie determinate lungimile legăturilor, unghiurile dintre ele și aranjarea spațială a atomilor. **M.** în care electronii de legătură se repartizează uniform între atomii componenți sînt **m. nepolare,** atomii fiind legați prin legături covalente. **M.** la care centrul de greutate al sarcinilor pozitive nu mai coincide cu cel al sarcinilor negative se comportă din punct de vedere electric ca un dipol și sînt **polare.** Acest tip de **m.** fac trecerea între substanțele cu legătură covalentă și cele cu **legătură ionică. M.** au dimensiuni de ordinul cîtorva angströmi (A), cu excepția macromoleculelor, care pot avea dimensiuni cu mult mai mari. **M.** se reprezintă simbolic prin formule chimice.

MOLLIER (Diagrama pentru aer umed h-x). Diagramă trasată în coordonate oblice, ce redă variația entalpiei aerului umed *(h)* în funcție de conținutul de umiditate din acesta *(x),* pentru presiunea atmosferică nominală de 760 mmHg. Ea reprezintă una din cele mai răspîndite diagrame pentru studiul proceselor termodinamice ale aerului umed. Axele de coordonate (abscisa indică **umiditatea absolută a aerului** x în kg/kg, iar ordonata, entalpia în kcal/kg aer uscat) fac un unghi între ele și sînt astfel orientate, încît izoterma de 0°C să fie orizontală. Diagrama **M.** este întocmită pornind de la valorile $c_{p\ aer} = 0{,}24$ kcal/kgf; $c_{p_{vap}} = 0{,}46$ kcal/kgf și $r = 595$ kcal/kgf. °C. Axa absciselor face cu orizontala un unghi α_0 pentru care $\operatorname{tg} \alpha_0 = 595$ (Fig. M.40).

Procesele de umiditate absolută constantă (x=const.) și cele de entalpie constantă (h=const.) sînt reprezentate prin linii drepte, paralele cu axele de coordonate corespunzătoare. Izotermele, a căror ecuație este $I - 595\ x - T(0{,}24 + 0{,}46\ x) = 0$, reprezintă un fascicul de linii drepte, avînd înclinarea față de orizontală dată de unghiul β, astfel încît $\operatorname{tg} \beta = 0{,}46\ T$ și fiind concurente în punctul P de coordonate: $x = -\dfrac{0{,}24}{0{,}46} = -0{,}52$ kg apă/kg aer uscat; $I = -595 \cdot 0{,}52 = -308$ kcal/kg aer uscat.

Entalpiile din diagrama **M.** sînt calculate pentru $(1 + x)$ kg aer umed, ele fiind paralele cu linia $h = 0$ ce corespunde aerului uscat și apei la 0°C.

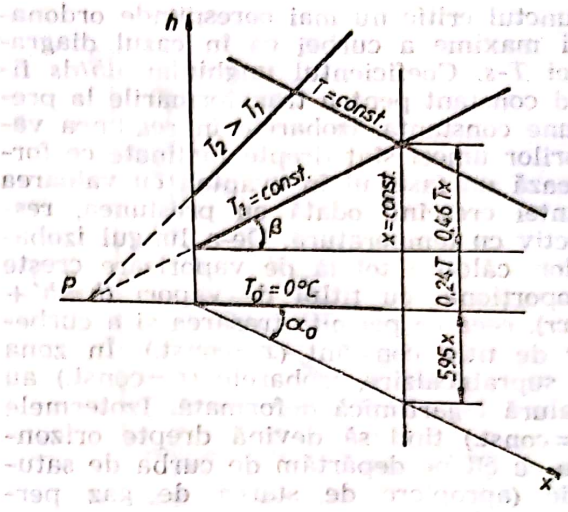


Fig. M.40. Diagrama Mollier pentru aer umed.

Spre deosebire de diagrama **M.,** diagrama *h—d (a lui Ramzin)* este construită pentru presiunea $p = 745$ mmHg (presiunea medie din jurul Moscovei), umiditatea relativă d exprimîndu-se în g/kg aer uscat ($d = 1000\ x$), iar $\alpha_0 = 45°$.

MOLLIER (Diagrama pentru vapori de apă h-s). Diagramă în care este reprezentată grafic, în coordonate rectangulare, variația entalpiei h a vaporilor de apă saturați și supraîncălziți în funcție de entropia s. Pe ordonată sînt marcate valorile entalpiei, iar pe abscisă, cele ale entropiei. Diagrama **M.** se folosește la calcularea directă a uneia din mărimile — entalpie, presiune, titlu (sau temperatura de supraîncălzire), cînd se cunosc celelalte două.

Perechile de valori ale entropiei și entalpiei corespunzătoare vaporilor saturați uscați și ale apei saturate formează curbele limită de saturație (Fig. M.41).

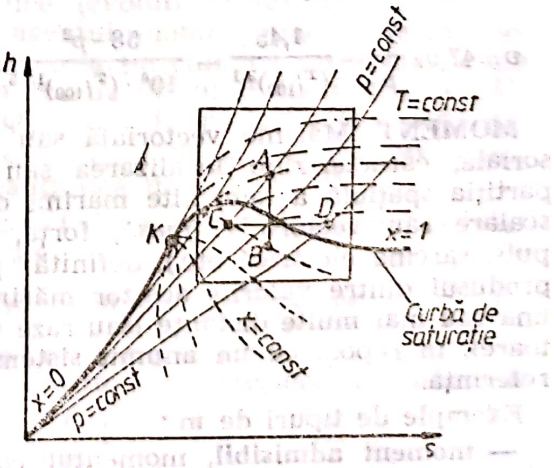


Fig. M.41. Diagrama Mollier pentru vapori de apă.

Punctul critic nu mai corespunde ordonatei maxime a curbei ca în cazul diagramei *T-s*. Coeficientul unghiular dh/ds fiind constant pentru transformările la presiune constantă, izobarele în regiunea vaporilor umezi sînt drepte înclinate ce formează un fascicul în evantai, cu valoarea pantei crescînd odată cu presiunea, respectiv cu temperatura. De-a lungul izobarelor, căldura totală de vaporizare crește proporțional cu titlul de vapori ($h=h'+xr$), ceea ce permite trasarea și a curbelor de titlu constant (x=const.). În zona de supraîncălzire, izobarele (p=const.) au o alură logaritmică deformată. Izotermele (T=const.) tind să devină drepte orizontale cu cît ne depărtăm de curba de saturație (apropiere de starea de gaz perfect).

Diagrama **M.** pentru abur permite determinarea cu mare ușurință a lucrului mecanic și a vitezelor de curgere în cazul destinderilor adiabatice (*A—B*) sau a titlului de vapori umezi în cazul unei laminări *(C—D)*.

MOLLIER (Tabelele lui). Tabele întocmite de dr. Richard Mollier care conțin principalele mărimi de stare (temperatura de saturație, volumul specific, entalpia, căldura latentă de vaporizare, căldura internă și externă de vaporizare) ale apei și aburului saturat la diferite presiuni (pînă la 100 ata) și ale aburului supraîncălzit pînă la presiunea de 100 ata și 500°C.

M. a întocmit primele sale tabele de abur (pînă la 20 ata și 500°C) în 1906, folosind ecuația de stare a lui Callendar:

$$v=47\frac{T}{p}+0{,}001-0{,}075\left(\frac{273}{T}\right)^{10/3},$$

iar pentru tabelele de abur din 1932, ecuația de stare (empirică):

$$v=47{,}02\frac{T}{p}-\frac{1{,}45}{(T/100)^{3{,}1}}-\frac{58\cdot p^2}{10^6\cdot(T/100)^{13{,}5}}.$$

MOMENT. Mărime vectorială sau tensorială, caracterizînd localizarea sau repartiția spațială a unei alte mărimi date, scalare sau vectoriale (masă, forță, impuls, sarcină electrică etc.), definită prin produsul dintre valorile acestor mărimi și una sau mai multe distanțe (sau raze vectoare), în raport cu un anumit sistem de referință.

Exemple de tipuri de **m.**:

— **moment admisibil,** momentul corespunzător secțiunii celei mai solicitate a unui element, în ipoteza că tensiunea maximă din secțiunea respectivă atinge valoarea sa admisibilă;

— **moment al unei forțe în raport cu o axă,** mărimea scalară reprezentînd proiecția pe axa dată a momentului forței date, în raport cu un punct oarecare de pe axă;

— **moment al unei forțe în raport cu un plan,** produsul dintre forță și distanța de la punctul ei de aplicație la plan;

— **moment cinetic,** mărime definită de produsul vectorial dintre raza vectoare în raport cu un punct fix (față de un sistem de referință inerțial) al unui punct material de o anumită masă și un anumit impuls mecanic;

— **moment motor,** cuplu dezvoltat la arborele cotit al unui motor. El este definit ca fiind:

$$M=955\frac{P}{n}\quad[\text{daN.m}]$$

sau:

$$M=716{,}2\frac{P}{n}\quad[\text{kgf.m}],$$

unde P este puterea motorului în [kW] pentru prima relație și în [CP], pentru a doua relație, iar n — turația de funcționare a motorului la regimul respectiv [rot/min].

În cazul motoarelor cu ardere internă cu piston, prezintă un interes deosebit variația **m.** motor efectiv cu turația.

Dacă într-una din relațiile de mai sus se înlocuiește valoarea puterii efective:

$$p_e=\frac{p_e\cdot V_s\cdot i\cdot n}{300\tau}\quad[\text{kW}]$$

sau:

$$p_e=\frac{p_e\cdot V_t\cdot i\cdot n}{225\tau}\quad[\text{CP}],$$

unde: p_e — presiunea medie efectivă, în [daN/cm^2], respectiv [kgf/cm^2]; v_s — cilindreea [dm^3]; i — numărul de cilindri; n — turația de funcționare [rot/min]; τ — numărul de timpi.

Se obține:

$$M_e=955\frac{p_e\cdot V_s\cdot i\cdot n}{300\tau}$$

sau

$$M_e=416{,}2\frac{p_e\cdot V_s\cdot i\cdot n}{225\tau}.$$

Scanned with OKEN Scanner

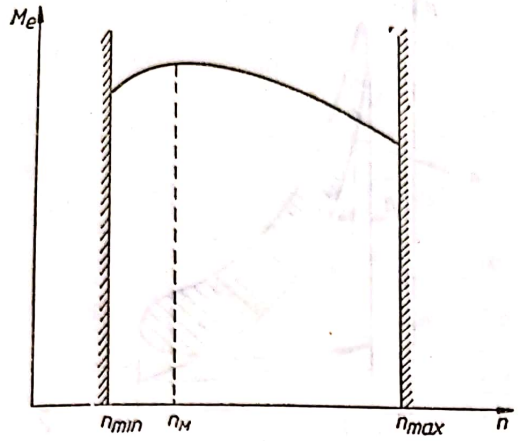


Fig. M.42. Variația momentului motor cu turația:
n_M — turația la moment maxim.

În cazul unui motor dat (cilindree totală invariabilă), rezultă dependența fundamentală:

$$M_e = \text{const. } p_e.$$

Ea arată că funcția $M_e(n)$ are aceeași alură ca $P_e(n)$, de care diferă numai printr-o constantă. Alura de variație a $M_e(n)$ este arătată în figura M.42.

MOTOCOMPRESOR. v. Grup motocompresor

MOTOPOMPĂ. Agregat compus dintr-o pompă, de obicei centrifugă, cuplată cu motorul ei de antrenare și montate pe un șasiu comun. Motorul de antrenare poate fi cu combustie internă sau electric, în acest ultim caz agregatul numindu-se și *electropompă*.

Ca variante constructive se deosebesc: **m.** stabile și **m.** transportabile, instalate pe un vehicul remorcat, folosite la irigații, intervenții contra incendiilor, alimentarea pe aeroporturi a aeronavelor etc.

MOTOR CU ABUR CU ROTOR (v. Turbină cu abur

MOTOR CU AER CALD CU PISTON. v. Stirling (Motor)

MOTOR CU APRINDERE PRIN COMPRIMARE. v. Diesl (Motor)

MOTOR CU APRINDERE PRIN SCÎNTEIE (Sin.: **Motor cu ardere la volum constant; Motor cu explozie; Motor Otto).** Motor cu ardere internă cu piston, la care aprinderea încărcăturii proaspete (amestec de aer și vapori de combustibil) se realizează de către o scînteie electrică, declanșată la sfîrșitul cursei de comprimare, într-un moment determinat al ciclului motor (v. Instalație de aprindere).

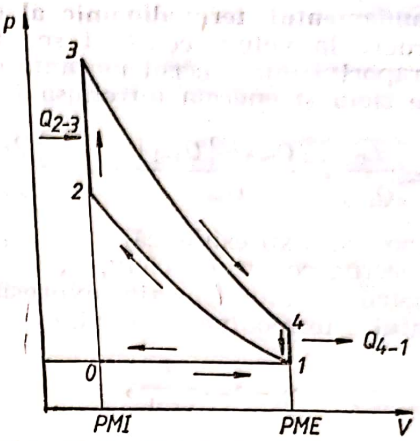


Fig. M.43. Ciclul teoretic al motorului cu aprindere prin scînteie.

Ciclul teoretic al **m.a.s.** este reprezentat în figura M.43. Considerînd mișcarea pistonului de la punctul mort interior către punctul mort exterior, procesele care alcătuiesc ciclul teoretic sînt următoarele: adiabata *1—2* (comprimarea încărcăturii proaspete), izocora *2—3* (arderea amestecului aer-combustibil), adiabata *3—4* (destinderea gazelor arse) și izocora *4—1* (evacuarea liberă a gazelor arse). În figură sînt schematizate și procesele de admisie (izobara *0—1*) și, respectiv de evacuare forțată (izobara *1—0*). Conform ipotezei admisă de schematizarea ciclurilor reale ale motoarelor cu ardere internă privind constanța cantității de agent motor care evoluează în cadrul ciclului, procesele cantitative de admisie și evacuare forțată pot fi eliminate, lucrurile mecanice ale transformărilor respective fiind egale și de sens contrar. Schematizarea procesului real de ardere include declanșarea scînteii electrice la sfîrșitul comprimării (punctul *2*), aprinderea amestecului carburant fără întîrziere și arderea sa instantanee (evoluția *2—3*). În timpul arderii, agentul motor primește de la sursa caldă (reacția chimică exotermă de ardere a combustibilului) cantitatea de căldură Q_{2-3}, iar în perioada evacuării gazelor se cedează sursei reci (mediul ambiant) cantitatea de căldură Q_{4-1}.

Parametrii caracteristici ai ciclului m.a.s. sînt:

— raportul de comprimare $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$ (v. Raport comprimare);

— raportul de creștere a presiunii $\lambda = \frac{p_3}{p_2}$;

— raportul de destindere ulterioară $\delta = \frac{V_4}{V_3}$.

Randamentul termodinamic al ciclului cu ardere la volum constant se exprimă prin raportul între lucrul mecanic dezvoltat de ciclu şi energia introdusă în ciclu:

$$\eta_t = \frac{L_C}{Q_{2-3}} = \frac{Q_{2-3} - |Q_{4-1}|}{Q_{2-3}} = 1 - \frac{|Q_{4-1}|}{Q_{2-3}}.$$

Înlocuind expresiile căldurilor primite şi, respectiv, cedate de ciclu, în funcţie de parametrii ciclului teoretic, expresia randamentului termodinamic devine:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}},$$

unde k este exponentul adiabatic al evoluţiilor de comprimare şi de destindere.

Variaţia randamentului termodinamic în funcţie de raportul de comprimare este reprezentată în figura M.44. Există o re-

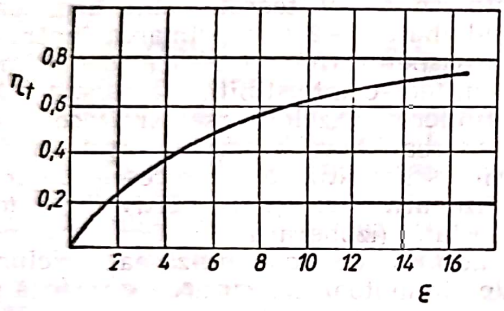


Fig. M.44. Variaţia randamentului termodinamic în funcţie de raportul de comprimare.

laţie de proporţionalitate directă pînă la valori $\varepsilon = 10 \ldots 12$. Mărirea în continuare a raportului de comprimare nu mai influenţează randamentul, acesta rămînînd practic constant. Limitarea raportului de comprimare este determinată însă, în principal, de alţi factori: apariţia detonaţiei la mărirea raportului de comprimare peste anumite valori (v. Detonaţie) şi creşterea sensibilă a solicitărilor mecanice ale pieselor motorului, proporţional cu raportul de comprimare. Ca urmare, valorile rapoartelor de comprimare ale **m.a.s.** variază, în general, în limitele 8—11 (valorile curente corespunzătoare motoarelor diesel fiind 16—18). Acest fapt determină dimensiuni şi greutăţi reduse ale **m.a.s.**, în raport cu motoarele diesel de puteri similare, fiind unul din avantajele utilizării **m.a.s.** pentru echiparea autovehiculelor.

Ciclul real al m.a.s. (Fig. M.45) ia în considerare pierderile de căldură (în tim-

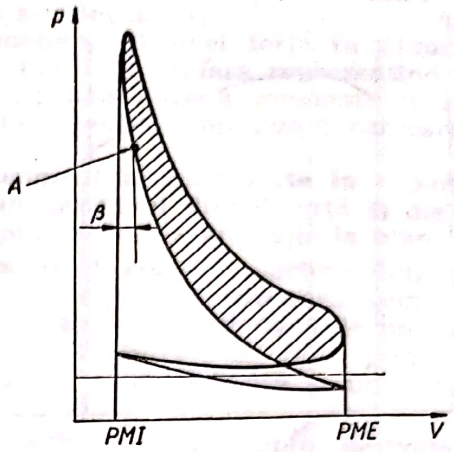


Fig. M.45. Ciclul real al motorului cu aprindere prin scînteie.

pul destinderii, gazele de ardere cedează căldură cilindrilor), laminarea gazelor la trecerea prin secţiunile controlate de supape, fazele reale ale distribuţiei (v. Faze de distribuţie), existenţa depresiunii în cilindru în perioada admisiei şi a suprapresiunii, în perioada evacuării, precum şi faptul că arderea nu este instantanee. Aprinderea amestecului aer-combustibil (punctul A) se produce cu avansul β faţă de punctul mort interior (v. Întîrziere la aprindere).

Randamentul indicat al ciclului real are expresia:

$$\eta_i = \frac{L_i}{Q_i},$$

în care L_i este lucrul mecanic indicat, exprimat prin aria diagramei reale (zona haşurată — Fig. M.45) şi cantitatea de căldură degajată în ciclu prin ardere.

Randamentul efectiv al ciclului real:

$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m$ (η_m — randamentul mecanic).

Caracteristicile procesului de ardere în m.a.s. sînt sensibil diferite în raport cu motorul diesel. În cilindrii **m.a.s.** se produce o ardere la volum aproximativ constant, ca urmare a inflamării amestecului aer-combustibil de către scînteia electrică. Arderea (producerea în lanţ a reacţiilor de oxidare) este posibilă atunci cînd combustibilul este amestecat cu aerul în proporţii bine definite, respectiv, pentru dozaje cuprinse între anumite limite (v. Dozaj). În vederea realizării unei arderi complete a combustibilului, este necesar un exces de aer (v. Coeficient de

exces de aer). Coeficienţii de exces de aer pentru **m.a.s.** au valori reduse (1,1—1,2) în raport cu motoarele diesel (1,4—1,6), datorită formării exterioare a amestecului aer-combustibil (v. Formarea amestecului).

Viteza de propagare a flăcării în cilindrii **m.a.s.** depinde de următorii factori: caracteristicile combustibilului, gradul de turbulenţă a amestecului aer-combustibil, dozaj, raportul de comprimare şi arhitectura camerei de ardere. Arderea în cilindri se propagă cu viteze de 20—30 m/s (în cazul detonaţiei vitezele de propagare a flăcării ating 250—300 m/s). Deoarece vitezele de propagare a undelor de şoc în cazul exploziilor sînt de 2...4 km/s, denumirea „motor cu explozie" este improprie pentru **m.a.s.**

Bilanţul termic al m.a.s. este dat în figura M.46. Căldura echivalentă lucrului mecanic util este cca 24%, pierderile fiind

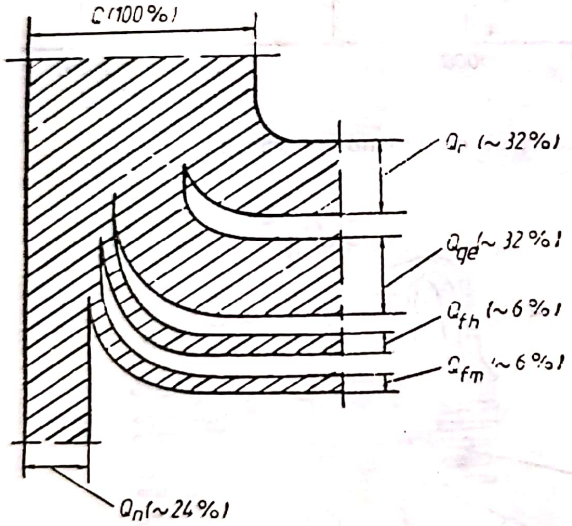


Fig. M.46. Bilanţul termic al unui motor cu aprindere prin scînteie.

determinate de căldura evacuată prin fluidul de răcire (cca 32%), de gazele arse evacuate (cca 32%), de frecările hidrodinamice (cca 6%) şi frecările mecanice (cca 6%).

În tabelul M.2 este dată **clasificarea m.a.s.**, conform unor criterii privind caracteristicile funcţionale, constructive şi de utilizare a motoarelor:

— Procedeul de realizare a ciclului motor (v. Motor cu ardere internă)
— Procedeul de formare a amestecului (v. Formarea amestecului; Alimentare cu combustibil)
— Tipul combustibilului (v. Alimentare cu combustibil)
— Dispunerea cilindrilor (v. Motor cu ardere internă)
— Tipul camerei de ardere (v. Cameră de ardere)
— Utilizare — conform Fig. M.47.

Tabelul M.2

Clasificarea motoarelor cu aprindere prin scînteie

Procedeul de realizare a ciclului	Motoare în doi timpi	
	Motoare în patru timpi	
Procedeul de formare a amestecului	Exterior	Motoare cu carburator
		Motoare cu amestecător
	Interior	Motoare cu injecţie de combustibil
Tipul combustibilului	Motoare cu combustibil lichid	
	Motoare cu combustibil gazos	
	Motoare cu alimentare mixtă (lichid+gaz)	
Dispunerea cilindrilor	Motoare cu cilindri verticali, în linie	
	Motoare cu cilindri orizontali	
	Motoare cu cilindri în V	
	Motoare cu cilindri în W	
	Motoare cu cilindri în stea	
Tipul camerei de ardere	Camere de ardere în L	
	Camere de ardere în I	
	Camere de ardere semisferice	
	Camere de ardere cu acoperiş	
Utilizare	Motoare de avion	
	Motoare pentru vehicule rutiere	Motociclete
		Autoturisme
		Autoutilitare
		Autocamioane
	Motoare pentru ambarcaţiuni uşoare	
	Motoare industriale	
	Motoare speciale (motociclete şi automobile de curse)	

Scanned with OKEN Scanner

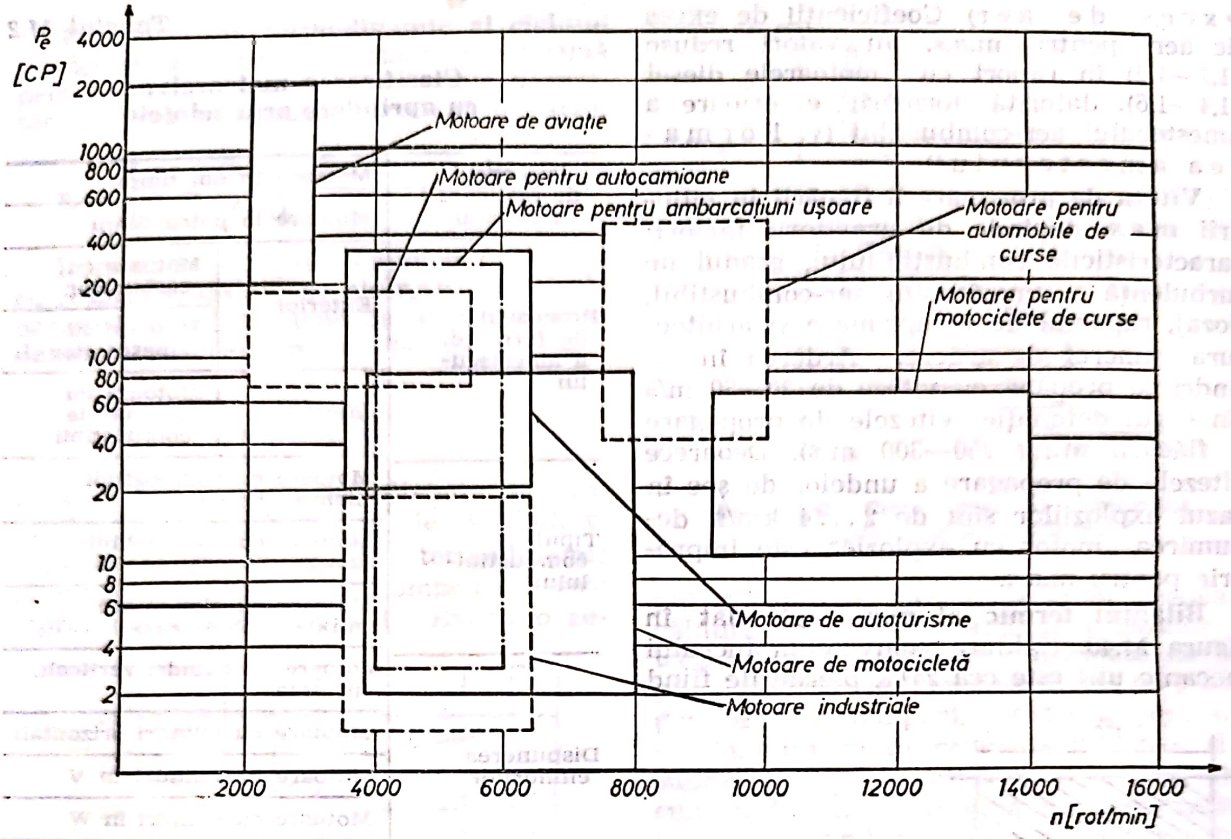


Fig. M.47. Domenii de utilizare a motoarelor cu aprindere prin scînteie.

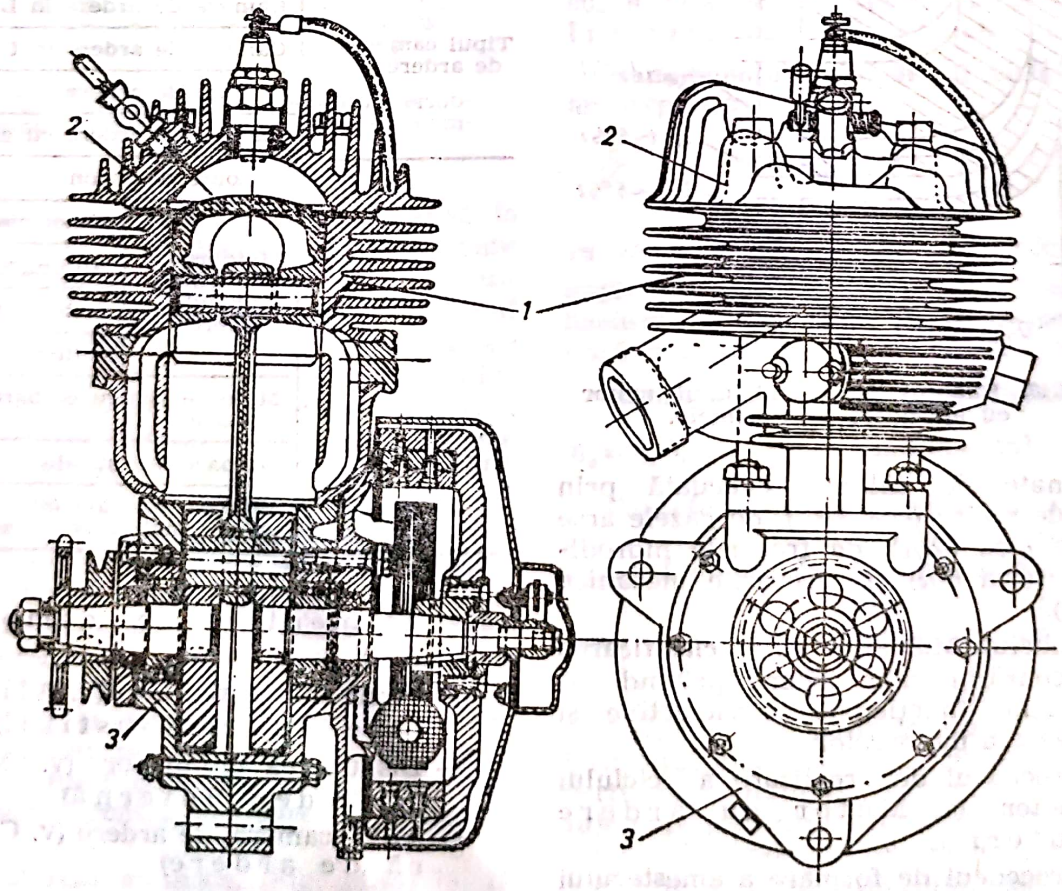


Fig. M.48. Motor de motocicletă cu răcire cu aer:
1 — cilindru cu nervuri; *2* — culasă; *3* — carter.

Scanned with OKEN Scanner

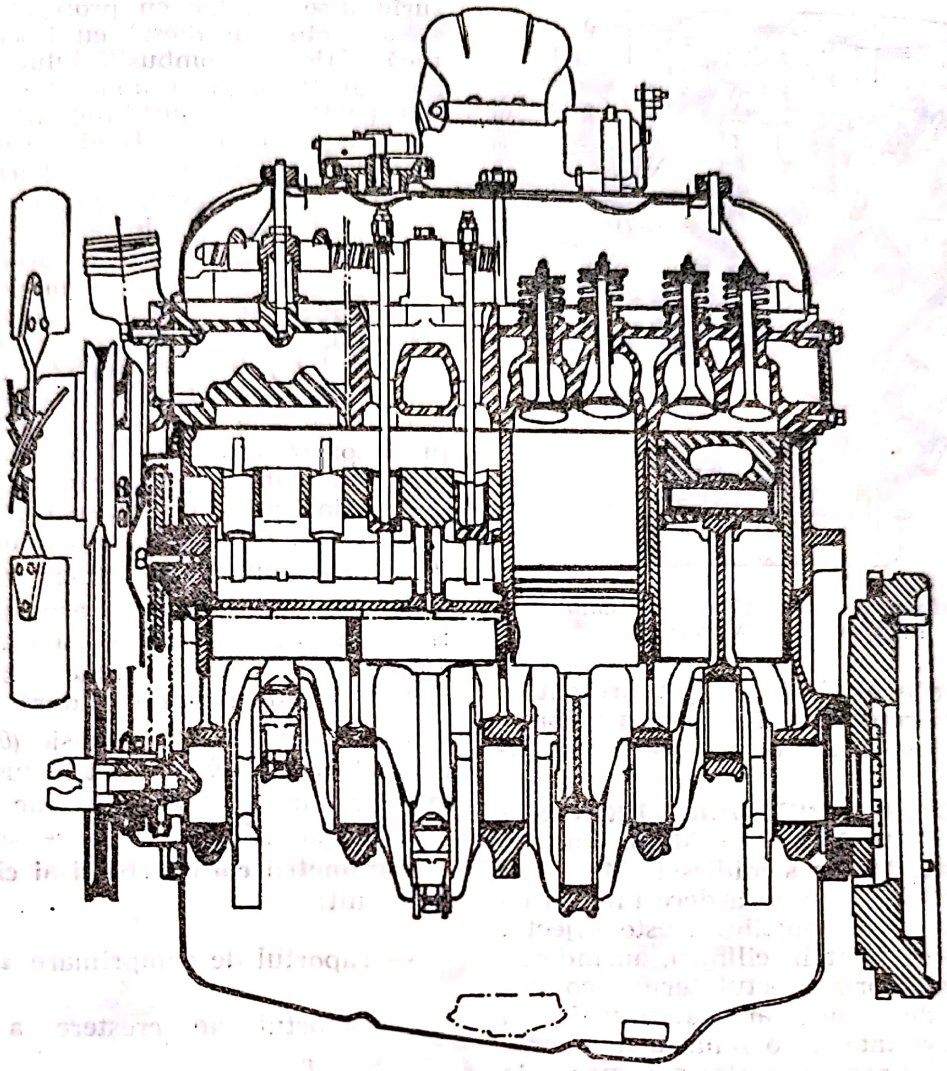


Fig. M.49. Motor cu 4 cilindri în linie (Dacia 1300).

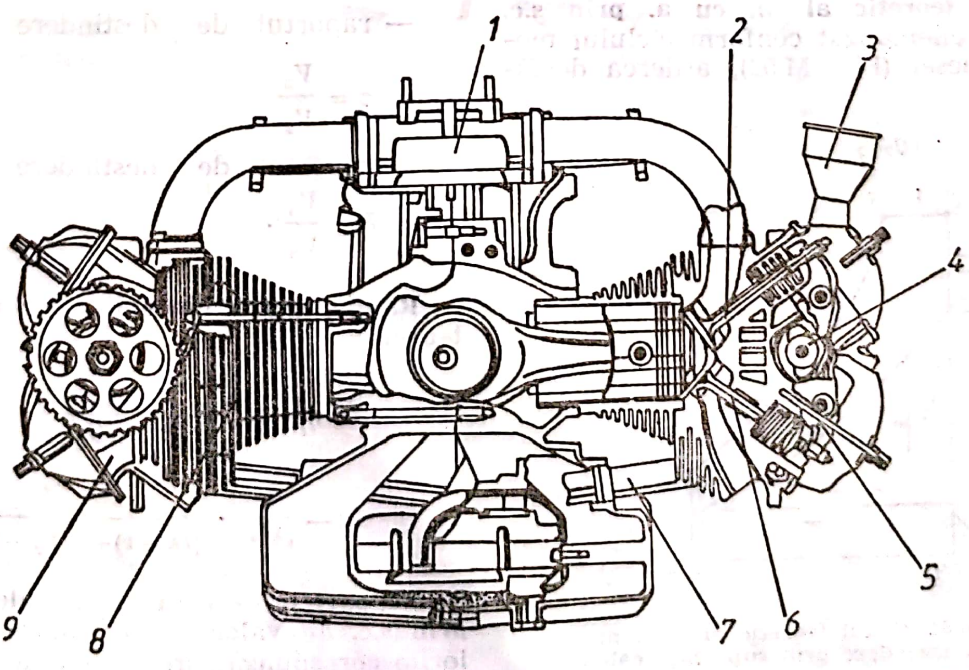


Fig. M.50. Motor de autoturism (OLTCIT) cu patru cilindri, boxer, cu răcire cu aer:

1 — filtru de aer; *2* — supapă de admisie; *3* — pîlnie de alimentare cu ulei; *4* — ax cu came; *5* — culbutor; *6* — supapă de evacuare; *7* — tub retur ulei; *8* — cilindru; *9* — culasă.

Scanned with OKEN Scanner

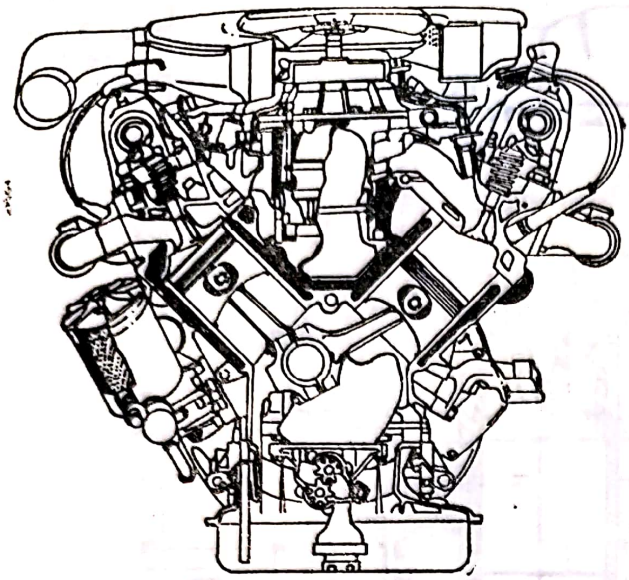


Fig. M.51. Motor de autoturism cu 8 cilindri în V, răcit cu apă (Mercedes).

În figurile M.48—M.51 sînt prezentate unele tipuri reprezentative de **m.a.s.** corespunzător domeniilor de utilizare specificate.

MOTOR CU APRINDERE PRIN SUPRAFAȚĂ CALDĂ (Sin.: **Motor cu cap incandescent; Motor semidiesel; Motor cu ardere mixtă).** Motor cu ardere internă cu piston, la care combustibilul este injectat în aerul comprimat în cilindri, aprinderea fiind realizată prin efectul termic combinat, produs de comprimarea aerului și prin căldura dezvoltată de o zonă de temperatură ridicată (incandescentă) a camerei de ardere.

Ciclul teoretic al m. cu a. prin s.c. poate fi schematizat conform ciclului motorului diesel (Fig. M.52), arderea desfășurîndu-se similar cu procesul corespunzător motorului diesel cu injecție mecanică; injecția combustibilului începe în punctul II înaintea punctului mort interior (PMI). Combustibilul injectat nu se aprinde instantaneu, fiind necesară o durată de timp τ_a pentru prepararea amestecului aer-combustibil (v. Întîrziere la aprindere). În perioada întîrzierii la aprindere, în camera de ardere se acumulează o fracțiune de combustibil, care, după aprinderea provocată de zona incandescentă, arde instantaneu, procesul fiind reprezentat prin izocora *2-2'*. Restul fracțiunii de combustibil arde progresiv, pe măsură ce este injectat în cilindru, corespunzător izobarei *2'-3*. Procesul de ardere este schematizat prin transformările *2-2'* și *2'-3*, în timpul cărora se transmit agentului motor cantitățile de căldură $Q_{2-2'}$ și $Q_{2'-3}$. Celelalte transformări care compun ciclul sînt comprimarea aerului *1-2*, destinderea gazelor arse *3-4* și evacuarea liberă *4-1* în cursul căreia agentul motor cedează cantitatea de căldură Q_{4-1}. Procesele cantitative de admisie (*0-1*) și evacuare forțată (*1-0*) nu sînt incluse în ciclul teoretic, lucrurile mecanice ale celor două transformări fiind egale și de sens contrar.

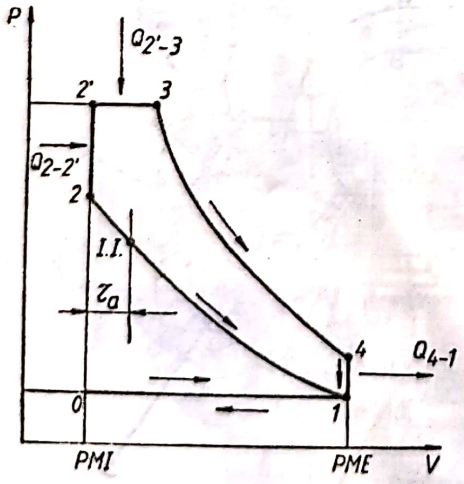


Fig. M.52. Ciclul teoretic al unui motor cu aprindere prin suprafață caldă.

Parametrii caracteristici ai ciclului teoretic sînt:

— raportul de comprimare $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$

— raportul de creștere a presiunii $\lambda = \frac{p_3}{p_2}$

— raportul de destindere prealabilă $\varphi = \frac{V_3}{V_2}$

— raportul de destindere ulterioară $\delta = \frac{V_4}{V_3}$.

Randamentul termodinamic al ciclului teoretic:

$$\eta_t = 1 - \frac{|Q_{4-1}|}{Q_{2-2'} + Q_{2'-3}} =$$

$$= 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\lambda\varphi^k - 1}{[(\lambda - 1) + k\lambda(\varphi - 1)]}.$$

Rapoartele de comprimare ale **m. cu a. prin s.c.** au valori intermediare între valorile corespunzătoare motoarelor cu aprin-

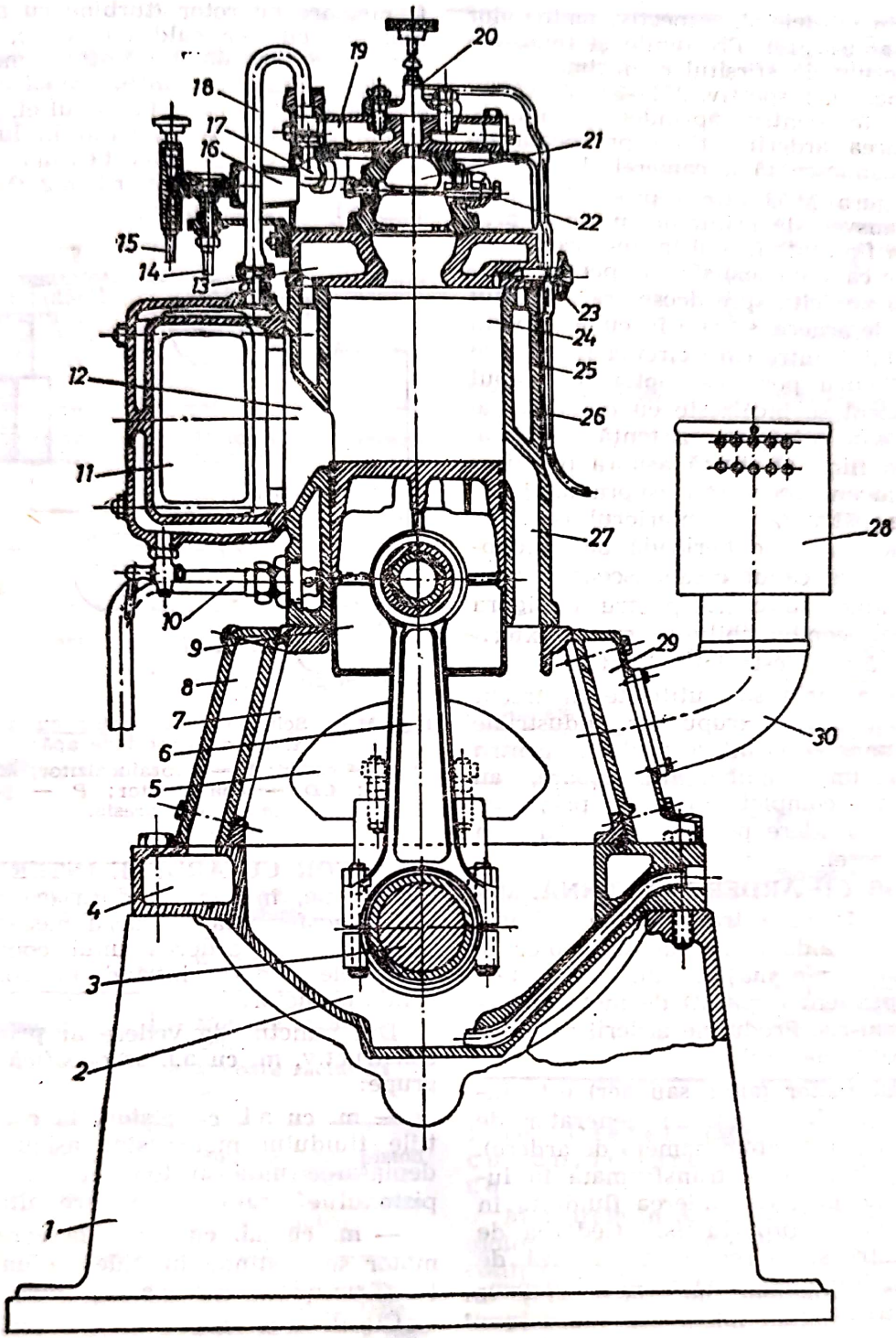


Fig. M.53. Motor cu aprindere prin suprafață caldă în doi timpi:
1 — batiu; *2* — carter inferior; *3* — arbore motor; *4* — conductă de aer suplimentar; *5* — contragreutate; *6* — bielă; *7* — carter superior; *8* — conductă de aer suplimentar; *9* — piston; *10* — conductă de apă de răcire; *11* — colector de evacuare; *12* — fereastră de evacuare; *13* — culasă; *14* — conductă de intrare a aerului la dispozitivul de încălzire a capului incandescent; *15* — conductă de intrare a combustibilului la dispozitivul de încălzire; *16* — dispozitiv de încălzire a capului incandescent; *17* — cot de legătură între culasă și camera de răcire a injectorului; *18* — conductă de ieșire a apei din camera de răcire a injectorului; *19* — cameră de răcire a injectorului; *20* — injector de combustibil; *21* — cap incandescent; *22* — șurub incandescent pentru pornire; *23* — șurub pentru decompensare; *24* — cilindru; *25* — cameră de răcire a cilindrului; *26* — conductă de combustibil spre injector; *27* — fereastră de baleiaj (comunicare între cilindru și carter); *28* — filtru de aer; *29* — fereastră de admisie a aerului; *30* — cot de legătură între filtrul de aer și fereastra de admisie.

Scanned with OKEN Scanner

dere prin scînteie și, respectiv, motoarelor diesel ($\varepsilon = 9 \ldots 10$). Presiunile și temperaturile aerului la sfîrșitul comprimării sînt 15—20 bar și, respectiv, 270—300 °C, valori insuficiente pentru aprindere spontană, declanșarea arderii fiind provocată de zona incandescentă a camerei de ardere.

În figura M.53 este reprodusă o secțiune transversală printr-un **m. cu a. prin s.c.** Zona fierbinte (capul incandescent) are forma de cavitate semisferică, pereții fiind simpli și nerăciți, spre deosebire de restul camerei de ardere, situată în culasă, avînd pereții dubli, între care circulă fluidul de răcire. Pentru pornirea motorului, capul incandescent se încălzește cu o lampă de benzină sau printr-o rezistență electrică, încălzirea fiind efectuată asupra pereților capului incandescent sau asupra unui șurub care pătrunde în interiorul cavității semisferice. După o perioadă de funcționare, în care capul incandescent a acumulat căldură suficientă pentru a asigura aprinderea combustibilului, sursa exterioară de căldură este îndepărtată.

M. cu a. prin s.c., utilizate în trecut pentru acționarea grupurilor industriale mici, a unor mașini agricole și pentru propulsia unor ambarcații ușoare, au fost practic complet înlocuite, prin motoare cu aprindere prin scînteie sau prin motoare diesel.

MOTOR CU ARDERE EXTERNĂ. Motor termic în care transmiterea căldurii de la sursa caldă către agentul motor se efectuează într-o mașină sau aparat termic independent (separat) de motorul termic propriu-zis. Produsele arderii nu intră în compoziția agentului motor.

Agentul motor (abur sau aer) este încălzit în prealabil într-un generator de căldură (cazan de abur, cameră de ardere). Căldura primită este transformată în lucru mecanic prin destinderea fluidului în motorul termic propriu-zis. Cedarea de căldură către sursa rece se efectuează, de asemenea, într-un aparat termic independent (condensator).

O schemă de principiu a unui **m. cu a.e.** este prezentată în figura M.54.

În raport de tipul agentului motor, **m. cu a.e.** pot fi acționate cu abur supraîncălzit sau cu aer cald, iar din punctul de vedere al sistemului de producere a lucrului mecanic, ele pot fi motoare cu piston, în care lucrul mecanic este efectuat prin deplasarea pistonului în cilindru sub acțiunea presiunii agentului motor, sau pot fi motoare cu rotor (turbine cu abur sau motoare cu aer cald cu rotor), în care energia potențială a agentului motor sub presiune este, mai întîi, transformată în energie cinetică care, la rîndul ei, se transformă în paletele rotorului în lucru mecanic util [v. Motor termic; Mașină cu abur; Stirling (Motor); Turbină cu abur].

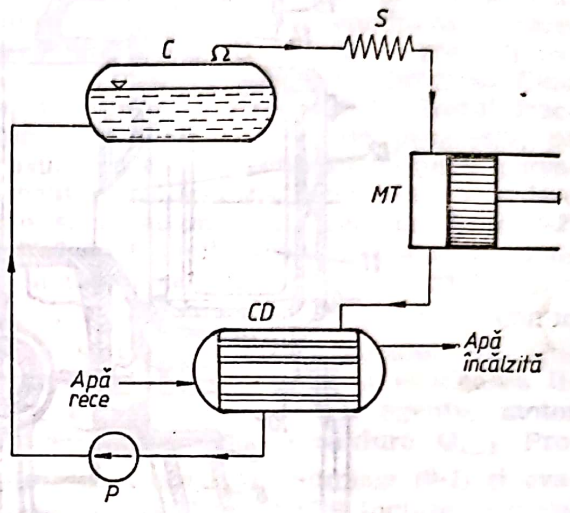


Fig. M.54. Schema unui motor cu ardere externă cu vapori de apă:
C — cazan; *S* — supraîncălzitor; MT — motor; *CD* — condensator; *P* — pompă de compresie.

MOTOR CU ARDERE INTERNĂ. Motor termic, în care căldura (ce urmează a fi transformată în lucru mecanic) este obținută prin arderea unui combustibil, produsele arderii intrînd în compoziția fluidului motor.

Din punctul de vedere al principiului constructiv, **m. cu a.i.** se clasifică în două grupe:

— **m. cu a.i. cu piston,** la care evoluțiile fluidului motor sînt asigurate prin deplasarea unui piston într-un cilindru, pistonul efectuînd o mișcare alternativă;

— **m. cu a.i. cu rotor,** la care fluidul motor se destinde în paletele unui rotor [v. Turbină cu gaze].

Clasificarea **m. cu a.i.** cu piston este prezentată în tabelul M.3, conform criteriilor privind caracteristicile ciclului termodinamic, principiile funcționale, construcția și domeniile de utilizare.

În legătură cu clasificarea din tabel, se fac următoarele precizări:

Tipurile de motoare, caracterizate conform procedeului de aprindere, sînt tratate în cadrul unor termeni distincți [v. Motor cu aprindere prin scîn-

Tabelul M.3

Clasificarea motoarelor cu ardere internă

Procedeul de aprindere	— Motoare cu aprindere prin scînteie — Motoare cu aprindere prin comprimare — Motoare cu aprindere prin suprafață caldă
Modul de realizare a ciclului (numărul de rotații ale arborelui cotit în care se realizează ciclul motor)	— Motoare în doi timpi — Motoare în patru timpi
Starea de agregare a combustibilului	— Motoare cu combustibil gazos — Motoare cu combustibil lichid — Motoare cu combustibil gazos și lichid
Locul de formare a amestecului combustibil — aer	— Motoare cu formarea amestecului în exteriorul cilindrului — Motoare cu formarea amestecului în interiorul cilindrului
Procedeul de admisie	— Motoare cu admisie normală — Motoare cu admisie forțată
Numărul compartimentelor camerei de ardere	— Motoare cu cameră de ardere unitară — Motoare cu cameră de ardere divizată
Natura agentului de răcire	— Motoare răcite cu lichid — Motoare răcite cu aer
Modul de acționare a pistonului de către fluidul motor	— Motoare cu piston acționat simplu — Motoare cu piston acționat dublu
Sensul de rotație	— Motoare cu un singur sens de rotație — Motoare cu două sensuri de rotație
Viteza medie a pistonului	— Motoare lente — Motoare semirapide — Motoare rapide
Organul de ghidare a piciorului bielei	— Motoare cu piston portant — Motoare cu cap de cruce
Poziția planului în care se mișcă axa piciorului bielei față de axa de rotație a arborelui cotit	— Motoare axate — Motoare dezaxate
Numărul de cilindri	— Motoare cu un singur cilindru (motoare monocilindrice) — Motoare cu mai mulți cilindri (motoare policilindrice)
Dispoziția relativă a cilindrilor	— Motoare în linie — Motoare în V — Motoare cu cilindri opuși — Motoare în evantai — Motoare în X — Motoare în stea — Motoare cu două linii de cilindri — Motoare în H — Motoare cu cilindri jumelați — Motoare cu pistoane opuse (boxer)
Poziția axelor cilindrilor față de verticală	— Motoare verticale — Motoare înclinate — Motoare orizontale
Utilizare	— Motoare pentru autovehicule — Motoare de tractor — Motoare pentru tracțiune feroviară — Motoare pentru propulsie navală — Motoare de avion — Motoare industriale — Motoare speciale (pentru vehicule militare, sportive etc.).

teie, Diesel (Motor) și Motor cu aprindere prin suprafață caldă].

Motoarele în doi timpi realizează ciclul motor într-o singură rotație a arborelui cotit, respectiv în două curse ale pistonului (Fig. M.55), iar **motoarele în patru timpi** realizează ciclul motor în două rotații ale arborelui, respectiv în patru curse ale pistonului (Fig. M.56).

Motoarele cu combustibil gazos și lichid sînt acele motoare care funcționează cu combustibil gazos și lichid, simultan sau consecutiv (Sin.: Motor diesel-gaz). Motoarele sînt numite policarburante, dacă pot funcționa cu diferiți combustibili lichizi sau gazoși.

La motoarele cu admisie naturală, intrarea aerului în cilindru se produce da-

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul M.3

Clasificarea motoarelor cu ardere internă

Procedeul de aprindere	— Motoare cu aprindere prin scînteie — Motoare cu aprindere prin comprimare — Motoare cu aprindere prin suprafaţă caldă
Modul de realizare a ciclului (numărul de rotaţii ale arborelui cotit în care se realizează ciclul motor)	— Motoare în doi timpi — Motoare în patru timpi
Starea de agregare a combustibilului	— Motoare cu combustibil gazos — Motoare cu combustibil lichid — Motoare cu combustibil gazos şi lichid
Locul de formare a amestecului combustibil — aer	— Motoare cu formarea amestecului în exteriorul cilindrului — Motoare cu formarea amestecului în interiorul cilindrului
Procedeul de admisie	— Motoare cu admisie normală — Motoare cu admisie forţată
Numărul compartimentelor camerei de ardere	— Motoare cu cameră de ardere unitară — Motoare cu cameră de ardere divizată
Natura agentului de răcire	— Motoare răcite cu lichid — Motoare răcite cu aer
Modul de acţionare a pistonului de către fluidul motor	— Motoare cu piston acţionat simplu — Motoare cu piston acţionat dublu
Sensul de rotaţie	— Motoare cu un singur sens de rotaţie — Motoare cu două sensuri de rotaţie
Viteza medie a pistonului	— Motoare lente — Motoare semirapide — Motoare rapide
Organul de ghidare a piciorului bielei	— Motoare cu piston portant — Motoare cu cap de cruce
Poziţia planului în care se mişcă axa piciorului bielei faţă de axa de rotaţie a arborelui cotit	— Motoare axate — Motoare dezaxate
Numărul de cilindri	— Motoare cu un singur cilindru (motoare monocilindrice) — Motoare cu mai mulţi cilindri (motoare policilindrice)
Dispoziţia relativă a cilindrilor	— Motoare în linie — Motoare în V — Motoare cu cilindri opuşi — Motoare în evantai — Motoare în X — Motoare în stea — Motoare cu două linii de cilindri — Motoare în H — Motoare cu cilindri jumelaţi — Motoare cu pistoane opuse (boxer)
Poziţia axelor cilindrilor faţă de verticală	— Motoare verticale — Motoare înclinate — Motoare orizontale
Utilizare	— Motoare pentru autovehicule — Motoare de tractor — Motoare pentru tracţiune feroviară — Motoare pentru propulsie navală — Motoare de avion — Motoare industriale — Motoare speciale (pentru vehicule militare, sportive etc.).

teie, Diesel (Motor) şi Motor cu aprindere prin suprafaţă caldă].

Motoarele în doi timpi realizează ciclul motor într-o singură rotaţie a arborelui cotit, respectiv în două curse ale pistonului (Fig. M.55), iar **motoarele în patru timpi** realizează ciclul motor în două rotaţii ale arborelui, respectiv în patru curse ale pistonului (Fig. M.56).

Motoarele cu combustibil gazos şi lichid sînt acele motoare care funcţionează cu combustibil gazos şi lichid, simultan sau consecutiv (Sin.: Motor diesel-gaz). Motoarele sînt numite policarburante, dacă pot funcţiona cu diferiţi combustibili lichizi sau gazoşi.

La motoarele cu admisie naturală, intrarea aerului în cilindru se produce da-

Scanned with OKEN Scanner

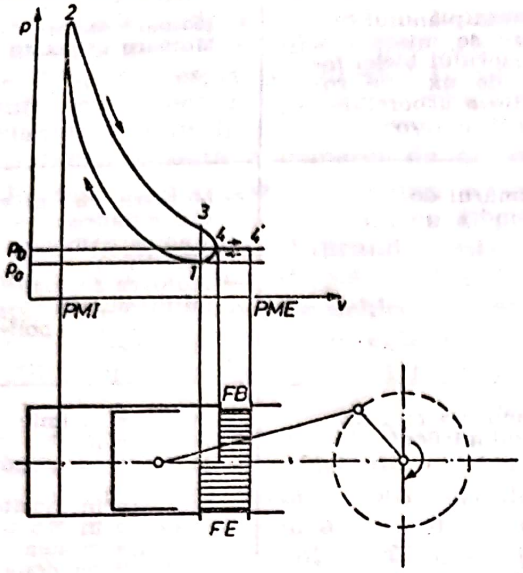


Fig. M.55. Diagrama unui motor cu ardere internă în doi timpi:
1—2 — comprimare,; *2—3* — destindere; *3—4* — evacuarea prin ferestrele de evacuare; *4—4'—4—1* — baleiajul și admisia; p_b — presiunea de baleiaj; p_0 — presiunea barometrică; *FB* — ferestre de baleiaj; *FE* — ferestre de evacuare.

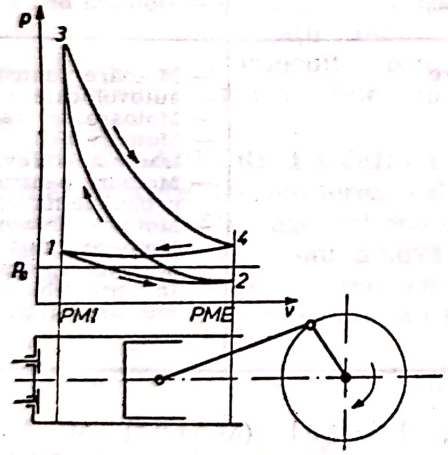


Fig. M.56. Diagrama unui motor cu ardere internă, în 4 timpi:
1—2 — admisia; *2—3* — comprimarea; *3—4* — destinderea; *4—1* — evacuarea; p_a — presiune de admisie.

torită depresiunii create prin deplasarea pistonului (v. Admisie).

La motoarele cu admisie forțată, aerul intră în cilindru ca urmare a comprimării prealabile a fluidului proaspăt (v. Supraalimentare).

Motoarele cu piston acționat simplu (Sin.: **Motoare cu simplu efect**) sînt motoare la care pistonul este acționat de fluidul motor pe una din suprafețele frontale (Fig. M.57). **Motoarele cu piston acționat dublu** (Sin.: **Motoare cu dublu efect**)

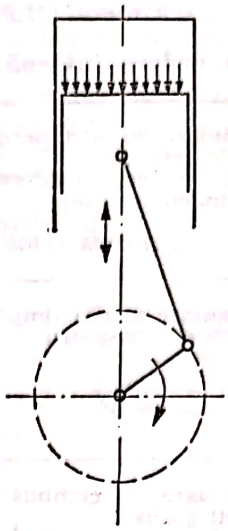


Fig. M.57. Motor axat cu simplu efect și piston portant.

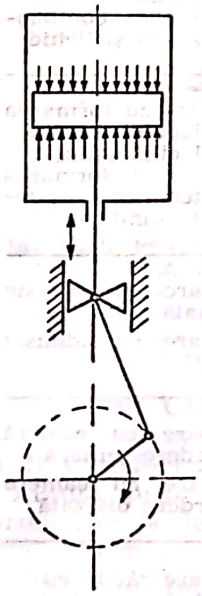


Fig. M.58. Motor cu dublu efect și cap de cruce.

sînt motoare la care pistonul este acționat de fluidul motor pe ambele suprafețe frontale (Fig. M.58).

Motoarele lente sînt motoare la care viteza medie a pistonului (corespunzătoare turației nominale) este mai mică decît 6,5 m/s. La motoarele semirapide, viteza medie a pistonului este cuprinsă între valorile 6,5 și 10 m/s, iar la motoarele rapide, viteza medie a pistonului este mai mare de 10 m/s.

Motoarele cu piston portant sînt motoare la care piciorul bielei este ghidat de către piston (Fig. M.57). La **motoarele cu cap de cruce** piciorul bielei este ghidat cu cap de cruce (Fig. M.58, C.21, D.44) (v. Cap de cruce).

Motoarele axate sînt acele motoare la care planul în care se deplasează axa piciorului bielei conține axa de rotație a arborelui cotit (Fig. M.57), în timp ce la

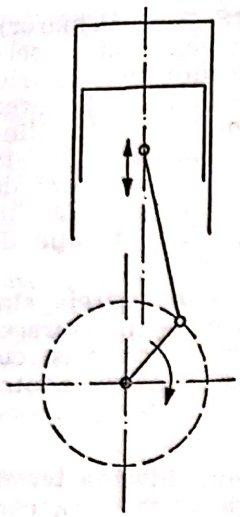


Fig. M.59. Motor dezaxat.

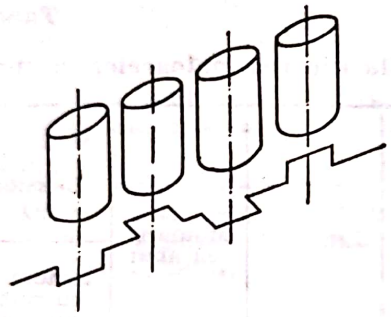


Fig. M.60. Motor în linie cu 4 cilindri.

motoarele dezaxate planul în care se deplasează axa piciorului bielei nu conține axa de rotație a arborelui cotit (Fig. M.59).

Motoarele în linie sînt motoare cu axele cilindrilor într-un plan care conține sau este paralel cu axa de rotație a arborelui cotit, cilindrii avînd aceeași orientare (Fig. M.60).

Motoarele în V sînt motoare cu cilindrii dispuși în două linii, deservite de un singur arbore cotit, planele determinate de axele cilindrilor fiecărei linii fiind concurente (Fig. M.61, D.46, D.47).

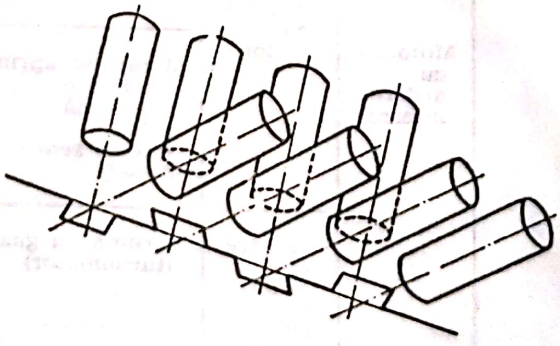


Fig. M.61. Motor în V cu 8 cilindri.

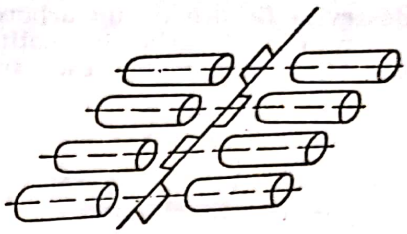


Fig. M.62. Motor cu cilindri opuși.

Motoarele cu cilindrii opuși (Sin.: **Motoare boxer**) sînt motoare în V, la care unghiul dintre planele determinate de axele cilindrilor fiecărei linii este 180° (Fig. M.62).

Motoarele în evantai sînt motoare cu mai multe linii de cilindri, deservite de un arbore cotit avînd fiecare cot acționat de un număr de biele egal cu numărul liniilor de cilindri, unghiul dintre planele determinate de axele cilindrilor din liniile extreme find mai mic de 180°. Un caz particular îl reprezintă motorul în W, care este un motor în evantai cu trei linii de cilindri.

Motoarele în X sînt motoare cu patru linii de cilindri deserviți de un arbore cotit avînd fiecare cot acționat de patru biele, axele cilindrilor fiind situate în două plane concurente.

Motoarele în stea sînt motoare cu axele cilindrilor dispuse în plane perpendiculare pe axa de rotație a arborelui cotit, axele cilindrilor situate în același plan

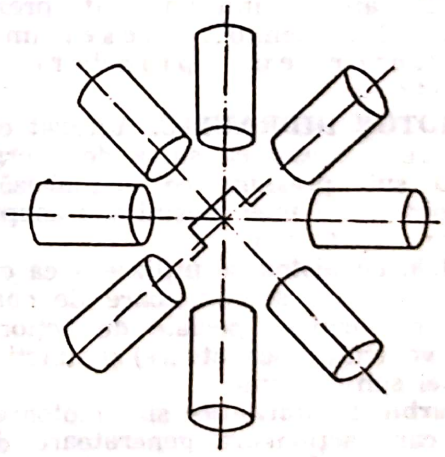


Fig. M.63. Motor în stea cu 8 cilindri.

fiind uniform distribuite în jurul axei de rotație a arborelui cotit (Fig. M.63). Motoarele în stea simplă au axele cilindrilor situate într-un singur plan, iar motoarele în stea multiplă au axele cilindrilor situate în plane paralele.

Motoarele cu două rînduri de cilindri sînt motoare cu cilindrii dispuși în două

linii, deservite fiecare de un arbore cotit, axele de rotație ale arborilor cotiți fiind paralele. Momentul motor este transmis

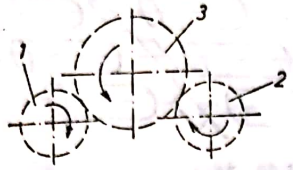


Fig. M.64. Transmiterea momentului motor la un motor cu două rînduri de cilindri:
1 — roată dințată pe arborele 1; 2 — roată dințată pe arborele 2; 3 — roată dințată care preia momentul motor total.

de fiecare arbore cotit unei roți dințate care preia momentul total (Fig. M.64).

Motoarele în H sînt formate din două motoare cu cilindri opuși, axele de rotație ale celor doi arbori cotiți fiind paralele și situate într-un plan perpendicular pe axele cilindrilor.

Motoarele cu cilindri jumelați (cu cilindri gemeni) sînt motoare construite din grupe de doi cilindri cu cameră de ardere comună, bielele lor acționînd același maneton.

Motoarele cu pistoane opuse sînt motoare cu două pistoane opuse în fiecare cilindru, mișcarea pistoanelor fiind corelată de unul sau doi arbori cotiți (Fig. D.45).

Domeniile de utilizare ale motoarelor cu ardere internă sînt prezentate în cadrul termenilor: Diesel (motor) și Motor cu aprindere prin scînteie.

MOTOR HIDRAULIC. Agregat energetic care folosește ca sursă de energie un lichid sub presiune ce acționează asupra pistonului unei mașini sau asupra paletelor unei turbine.

M. h. cu piston se utilizează ca cilindri de acționare, servomotoare de comandă sau dispozitive speciale de acționare a unor vehicule (escavatoare) și funcționează cu ulei sub presiune.

Turbinele hidraulice sînt motoare rotative care acționează generatoare de curent electric. În funcție de debitul și presiunea lichidului, turbinele hidraulice se clasifică în trei grupe:

— **turbine Pelton** — pentru presiuni mari și debite mici;

— **turbine Francis** — pentru presiuni mijlocii și debite mijlocii;

— **turbine Kaplan** — pentru presiuni mici și debite mici.

MOTOR CU PISTON ROTATIV. v. WANKEL (Motor)

MOTOR DE PORNIRE (Sin.: **Demaror**). Motor electric de curent continuu ce servește la demararea motorului termic, prin acționarea volantului motor. Acționarea se face prin roți dințate, roata dințată a demarorului fiind baladoare (există diverse sisteme) și se dezangrenează de coroana dințată a volantului motor de îndată ce motorul a depășit o turație de aproximativ 50—80 rot/min.

Pentru autovehicule, demaroarele sînt motoare cu „montaj serie" — înfășurarea de excitație fiind parcursă de același curent ce parcurge indusul. Uneori, pentru 24 V se întrebuințează motoare „compound".

MOTOR TERMIC (Sin.: **Mașină termică**). Agregat de conversie a energiei, care

Tabelul M.4

Clasificarea motoarelor termice

Motoare termice	Motoare cu ardere externă	Motoare cu abur	Motor cu abur cu piston (mașină cu abur)
			Motor cu abur cu rotor (turbină cu abur)
		Motoare cu aer cald	Motor cu aer cald cu piston (motor Stirling)
			Motor cu aer cald cu rotor (turbină cu aer cald)
	Motoare cu ardere internă	Motoare cu ardere internă cu piston	Motor cu aprindere prin scînteie
			Motor cu aprindere prin comprimare (motor diesel)
			Motor cu aprindere prin suprafață caldă (motor semidiesel)
		Motoare cu ardere internă cu rotor	Turbină cu gaze (turbomotor)

transformă căldura în lucru mecanic prin intermediul unui fluid (agent) motor.

În **m.t. ideale**, agentul motor evoluează conform unor cicluri termodinamice diferite de ciclul Carnot, deoarece primirea căldurii de la sursa caldă, și, respectiv, cedarea ei către sursa rece nu se efectuează izotermic. Aceasta se datorește faptului că transformările de stare ale agentului motor sînt însoțite de modificări ale temperaturii surselor caldă și rece. De aceea, în ciclurile de referință ale **m.t.**, schimburile de căldură dintre agentul motor și sursele caldă și rece sînt transformări izocore și izobare. Expansiunile și comprimările în ciclurile de referință sînt transformări adiabatice, similare ciclului Carnot. **M.t.** ideale funcționează, în general, conform următoarelor cicluri: Clausius — Rankine, ciclu cu ardere la presiune constantă (Diesel), ciclu cu ardere la volum constant (Otto), ciclu cu ardere mixtă (Sabathé).

Ciclurile **m.t. reale** sînt diferite de ciclurile ideale, datorită următoarelor considerente:

— agentul motor, după efectuarea lucrului mecanic util, nu revine în starea inițială, ci este evacuat din **m.t.** și înlocuit, în următorul ciclu;

— existența pierderilor prin frecare; schimb de căldură între agentul motor și suprafețele de contact (cilindri, cameră de ardere etc.); laminarea gazelor la trecerea prin organele de admisie.

Clasificare **m.t.** este prezentată în tabelul M.4.

MOTORINĂ. Produs obținut prin distilarea țițeiului, cu temperatura de fierbere cuprinsă între 300 și 370°C. Se compune în cea mai mare parte din hidrocarburi cu 15—21 atomi de carbon și 4 pînă la 10% compuși oxigenați (acizi naftenici, acizi grași) și compuși cu sulf. În **m.** se găsesc hidrocarburi saturate parafinice și naftenice, aromatice și alchil-aromatice. Sînt două clase de **m.: parafinoase** — cu punct de congelare ridicat și **asfaltoase** — cu punct de congelare scăzut. Este un lichid slab gălbui, cu puterea calorifică de 10 500 kcal/kg.

M. se folosește drept combustibil pentru motoarele diesel, în amestec cu păcura drept combustibil pentru calorifere, ca materie primă în instalațiile de cracare catalitică pentru obținerea benzinei octanice, la fabricarea unsorilor consistente.

MULTICICLON. v. Ciclon

N

NECESAR DE CĂLDURĂ v. Termoficare

NERNST (Teorema lui). În 1906, Nernst introduce teorema care îi poartă numele, numită și **principiul al treilea al termodinamicii,** în urma studiului efectuat asupra sistemelor condensate (la temperaturi scăzute).

Pe baza datelor experimentale, Nernst a constatat că la temperaturi foarte joase, variația potențialului Gibbs (entalpia liberă) prezintă valori foarte apropiate de variația entalpiei, iar cînd $T \to 0$ K, cele două valori sînt egale:

$$\Delta G \to \Delta H \text{ pentru } T \to 0$$

Din **ecuația Gibbs-Helmholtz:**

$$\Delta G = \Delta H + T\left[\frac{\partial(\Delta G)}{\partial T}\right]_p,$$

rezultă:

$$\lim_{T\to 0} \frac{\partial(\Delta G)}{\partial T} = \lim \frac{\partial(\Delta H)}{\partial T} = 0,$$

ceea ce înseamnă că: „pentru sisteme în echilibru, odată cu scăderea temperaturii, variația entalpiei libere nu mai depinde de temperatură". Reprezentînd grafic funcțiile $\Delta G = f(T)$ și $\Delta H = \varphi(T)$, rezultă că acestea admit o tangentă comună orizontală, pentru $T \to 0$ (Fig. N.1). Aceste condiții au stat la baza *teoremei căldurii* a lui Nernst: „în sisteme la echilibru, care tind către temperatura zero absolut prin procese izoterm-cvasistatice, variația entalpiei libere nu mai depinde de temperatură".

Conform acestei teoreme, rezultă că o expresie echivalentă este și

$$\lim_{T\to 0} c_p = \lim_{T\to 0} c_v = 0$$

ceea ce evidențiază că în apropiere de zero absolut, căldura specifică se anulează. Această concluzie este confirmată și de variația căldurii specifice la temperaturi scăzute ($C_p = aT^3$).

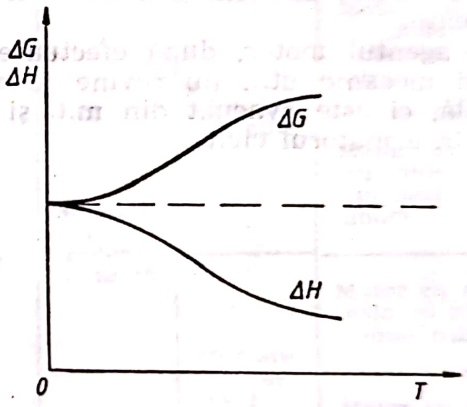


Fig. N.1. Variația mărimilor ΔG și ΔH în vecinătatea temperaturii de 0 K.

Derivata parțială a entalpiei libere în raport cu temperatura este:

$$\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p = -S$$

și, deci, conform teoremei lui Nernst:

$$\lim_{T\to 0} \frac{\partial(\Delta G)}{\partial T} = -\lim_{T\to 0} \Delta S = 0,$$

adică pentru $T \to 0$, procesele izotermice decurg fără variația entropiei. Ca urmare, **t. lui N.** poate fi enunțată și sub forma: „izoterma de zero absolut coincide cu adiabata".

Planck a completat teorema lui Nernst, adăugînd că pentru $T \to 0$, nu numai

$\Delta S \to 0$, ci și valoarea absolută a entropiei tinde către zero, adică:

$$\lim_{T \to 0} S \to 0.$$

Ca urmare, **postulatul lui Planck** se poate enunța: „entropia unui corp pur în stare condensată la temperatura de zero absolut este nulă".

Ținînd seama de interpretarea probabilității termodinamice și legătura ei cu variația de entropie a unui sistem, rezultă:

$$\lim_{T \to 0} S = \lim_{T \to 0} (k \ln P) = 0,$$

de unde se poate deduce că $P=1$, adică pentru $T \to 0$ probabilitatea termodinamică devine egală cu unitatea.

Prin analogie cu enunțurile referitoare la imposibilitatea funcționării unui perpetuum mobile de speța I și II, se poate preciza că nu se poate construi o mașină termică care să funcționeze cu răcirea agentului pînă la temperatura de 0 K. Aceasta evidențiază una din barierele fizicii referitoare la imposibilitatea atingerii temperaturii de 0 K (—273,15 °C).

Din **t. lui N.** rezultă o serie de consecințe importante:

— Conform principiului de nedeterminare a lui Heisemberg, produsul dintre impulsul și poziția unei particule elementare este mai mare sau egal cu constanta lui Planck. Atingerea temperaturii de zero absolut presupune încetarea mișcării de translație a particulelor, ceea ce ar duce la o contrazicere a principiului lui Heisemberg. De aici, o primă consecință referitoare la imposibilitatea atingerii temperaturii de zero absolut.

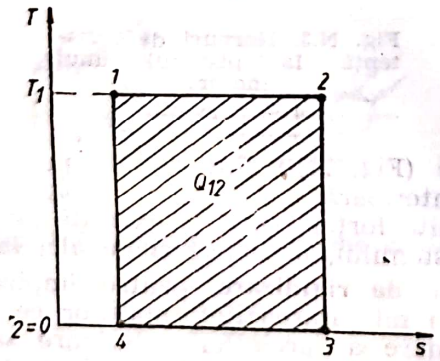


Fig. N.2. Ciclul Carnot între temperaturile T și 0 K.

— Dacă se consideră un ciclu Carnot care lucrează între temperaturile $T_1=T$ și $T_2=0$ (Fig. N.2), randamentul termic $\eta=1-\frac{T_2}{T_1}$ devine egal cu unitatea, $\eta=1$. Deoarece integrala pe contur este egală cu suma variațiilor corespunzătoare de entropie, rezultă:

$$\Phi \frac{\delta Q}{T} = (S_2 - S_1) + (S_3 - S_2) + (S_4 - S_3) + (S_1 - S_4) \neq 0,$$

unde:

$S_2 - S_1 = \frac{Q_2}{T_1} \neq 0$

$S_3 - S_2 = 0$ (transformare adiabatică)

$S_4 - S_3 = 0$ (nu există un corp cu temperatură mai mică decît 0 K pentru a realiza schimbul de căldură)

$S_1 - S_4 = 0$ (transformare adiabatică)

Această contradicție (variația de entropie într-un ciclu trebuie să fie nulă) arată imposibilitatea atît a atingerii temperaturii de zero absolut, cît și a funcționării unui ciclu cu temperatura sursei reci egală cu 0 K.

T. lui N. deschide și perspectiva obținerii valorilor absolute ale entropiei, afinității chimice și constantelor de echilibru. În cazul unui sistem termodinamic constituit dintr-o fază pură, variația de entropie între două stări corespunzătoare temperaturilor 0 și T este:

$$S - S_{T=0} = S = \int_0^T \frac{mc_p dT}{T} - \int_0^T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p dp.$$

În domeniul temperaturilor 0 și 20 K, al doilea termen este neglijabil, astfel că entropia devine:

$$S = \int_0^T \frac{mc_p dT}{T}.$$

Sau, considerînd pentru acest domeniu o dependență a căldurii specifice cu temperatura de forma $c_p = aT^n$, valoarea absolută a entropiei sistemului devine:

$$S = \frac{m \cdot a}{n} T^n,$$

expresie care dovedește că pentru $T \to 0$, $S \to 0$.

Pentru atingerea unor temperaturi scăzute, adesea se folosesc procese de destindere adiabatică, în cadrul cărora energia internă se transformă în lucru mecanic.

Scanned with OKEN Scanner

într-un astfel de proces $dS=0$ și, deci, conform primului principiu al termodinamicii:

$$\frac{dU}{T}+\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v dV=0,$$

sau particularizînd pentru un gaz perfect:

$$\frac{mc_v}{T}dT+\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v dV=0,$$

expresie echivalentă cu

$$\frac{mc_p}{T}dT-\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_p dp=0.$$

Din aceste două expresii rezultă:

$$dT=-\frac{\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v dV}{mc_v} \quad \text{și} \quad dT=\frac{\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p dp}{mc_p}.$$

Dacă temperatura de 0 K nu poate fi atinsă, atunci trebuie îndeplinită condiția:

$$\lim_{T\to 0}\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S=\lim_{T\to 0}\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_S=0.$$

Sau, considerînd în vecinătatea lui 0 K o dependență a căldurii specifice numai la temperatură de forma:

$$c_p=c_v=aT^n,$$

rezultă:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v=bT^n \quad \text{și} \quad \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p=cT^n$$

și pentru $T\to 0$:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v=\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p=0.$$

Derivatele parțiale din ecuația de mai sus sînt proporționale cu coeficienții termodinamici α și β:

$$\alpha=\frac{1}{v_0}\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \quad \text{și} \quad \beta=\frac{1}{p_0}\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v,$$

astfel că pentru $T\to 0$, rezultă $\alpha=\beta=0$.

NERVURĂ. Proeminență de pe suprafața unei piese (pe interior sau pe exterior), necesară măririi rezistenței sau rigidității ei, ghidării ei, sau măririi suprafeței de schimb de căldură (în scopul activizării transferului de căldură). **N.** pot folosi și la schimbarea caracteristicilor de vibrație ale unei piese, prin modificarea frecvenței proprii.

Din punct de vedere al execuției, **n.** sînt:

— **n. monobloc cu piesa,** obținute prin turnare, ștanțare, așchiere;

— **n. separate de piesă și montate pe ea** prin elemente de asamblare (șuruburi, nituri, coliere etc.), prin presare, lipire, brazare. Ele se execută din tablă, benzi metalice etc. și au formă de elice, de discuri circulare sau poligonale, de fîșii dispuse pe suprafața piesei.

Din punct de vedere al acoperirii piesei, se deosebesc:

— **n. continue,** care acoperă întreaga suprafață;

— **n. întrerupte,** care acoperă o porțiune din suprafață.

Din punct de vedere al rolului funcțional, **n.** sînt:

— **n. de rezistență,** la piesele cu pereți subțiri, pentru a le mări rezistența la solicitările exterioare. Se folosesc la construcția diferitelor organe de mașini, iar în capul pistoanelor motoarelor cu ardere

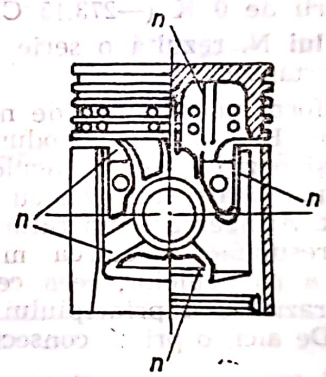


Fig. N.3. Nervuri de rezistență la pistonul unui motor:
n — nervură.

internă (Fig. N.3) sînt plasate pe suprafața interioară a lor, avînd rolul de a transmite forțele care se exercită pe fundul pistonului, la umeri și de aici la ax;

— **n. de rigidizare,** pentru împiedicarea sau micșorarea deformațiilor ce apar ca urmare a sarcinilor exterioare sau a modificării în timp a structurii materialului din care este executată piesa. Se folosesc la caroseria autovehiculelor, la carcasele diferitelor mecanisme, la batiuri etc.;

— **n. de încălzire,** pentru intensificarea transferului de căldură prin convecție de la mediul ambiant la o piesă sau invers, cînd acestea trebuie să se încălzească într-un timp scurt. Se folosesc la țevile economizoarelor, la serpentinele încălzitoare-

Scanned with OKEN Scanner

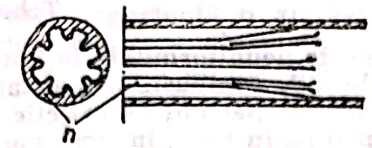


Fig. N.4. Nervuri de încălzire pe țeava unui cazan: *n* — nervură.

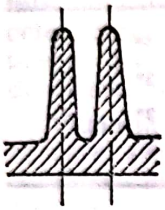


Fig. N.5. Nervuri exterioare.

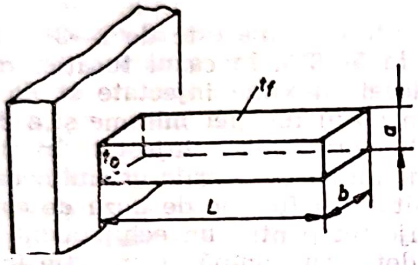


Fig. N.6. Nervură cu secțiune rectangulară cu L mare.

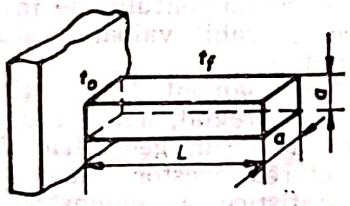


Fig. N.7. Nervură cu secțiune rectangulară cu L mic.

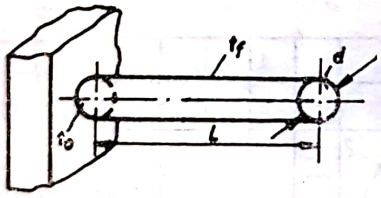


Fig. N.8. Nervură cu secțiune circulară.

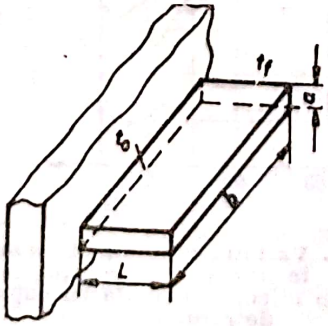


Fig. N.9. Nervură lată în direcția de curgere a fluidului.

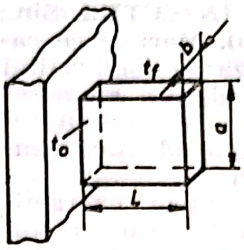


Fig. N.10. Nervură lată perpendiculară pe direcția de curgere a fluidului.

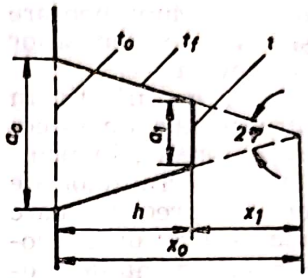


Fig. N.11. Nervură trapezoidală.

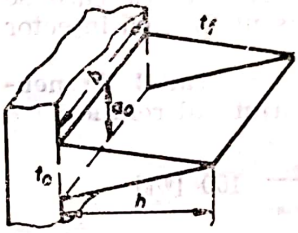


Fig. N.12. Nervură triunghiulară.

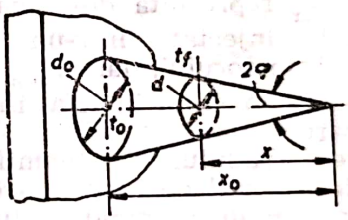


Fig. N.13. Nervură conică sau tronconică.

lor de apă cu ajutorul gazelor, la țevile de fum ale generatoarelor de abur (Fig. N.4), la elementii radiatoarelor de calorifer etc. Se denumesc și **aripioare de încălzire;**

— **n. de răcire,** pentru intensificarea transferului de căldură prin convecție, de la mediul ambiant la o piesă sau invers, cînd acestea trebuie să se răcească într-un timp scurt. Se folosesc la suprafețele cilindrilor unor motoare cu ardere internă (Fig. N.5) și ale compresoarelor răcite cu aer, la unele rezervoare de ulei ale avioanelor, la țevile vaporizatoarelor instalațiilor frigorifice etc. Se denumesc și **aripioare de răcire.**

Din punct de vedere constructiv, n. de încălzire și răcire sînt: **n. cu secțiune rectangulară** (Fig. N.6; N.7); **n. cu secțiune circulară** (Fig. N.8); **n. late** (Fig. N.9; N.10); **n. trapezoidale** (Fig. N.11); **n. cu profil triunghiular** (Fig. N.12); **n. tronconice** (Fig. N.13).

NEUNIFORMITATEA INJECȚIEI (Sin.: **Neuniformitatea debitării**). Mărime ce caracterizează faptul că doza de combustibil injectată în camera de ardere a motoarelor diesel policilindrice, la un anumit regim de funcționare, nu este identică pentru toți cilindrii motorului.

N.i. afectează performanțele energetice, economice și de durabilitate ale motorului, determinînd, totodată, o dinamică necorespunzătoare, solicitări suplimentare ale arborelui cotit și creșterea emisiilor poluante din gazele de evacuare.

În cazul echipamentelor de injecție în componența cărora intră pompe de injecție piston-sertar, **n.i.** se datorește, în principal, următoarelor cauze: toleranțelor de fabricație ale pieselor de precizie care compun traseul de înaltă presiune, geometriei diferite a traseelor de înaltă presiune, fenomenelor perturbatoare care se produc diferit pe traseul pompă-injector și exploatării.

N.i. se apreciază prin **gradul de neuniformitate** definit cu ajutorul relației:

$$N = 2 \cdot \frac{Q_{max} - Q_{min}}{Q_{max} + Q_{min}} \cdot 100 \ [\%],$$

în care Q_{max} reprezintă doza maximă de combustibil injectat într-un cilindru oarecare al motorului, iar Q_{min} — doza minimă de combustibil injectat într-un alt cilindru oarecare al motorului.

Valoarea gradului de neuniformitate depinde de regimul de funcționare al motorului. La regimul nominal de funcționare al oricărui motor diesel, gradul de neuniformitate admis este de 2—3%. Acesta crește la 5—8%, în cazul turației minime și a dozei maxime injectate și la circa 30%, în cazul turației minime și a dozelor mici de combustibil injectat. În tabelul N.1 sînt indicate valorile gradului de neuniformitate în funcție de doza de combustibil injectat pentru un echipament de injecție dotat cu pompă de injecție în linie, în stare nouă.

Tabelul N.1

Gradul de neuniformitate în funcție de doza de combustibil injectat, pentru un echipament de injecție dotat cu pompă în linie, în stare nouă

Doză injectată [mm³/ciclu]	N [%]
< 50	4*
50 . . . 100	3*
> 100	3*
La pornire	10

* La turația nominală.

Dereglarea și uzarea progresivă în exploatare a echipamentului de injecție amplifică considerabil valoarea gradului de neuniformitate.

La un echipament de injecție în stare nouă și corect reglat, **n.i.** este determinată de factori de ordin geometric și funcțional. Cercetarea acestor factori, condusă pe baze statistice, a demonstrat că în limitele toleranțelor de fabricație, influen-

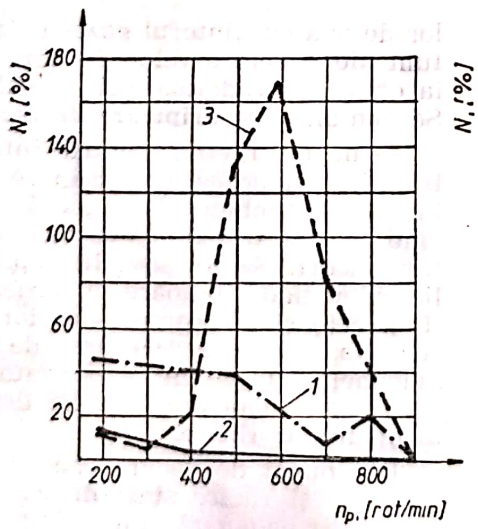


Fig. N.14. Variația gradului de neuniformitate în funcție de turație la o pompă de injecție în linie:
1 — elemente cu joc normal; 2 — elemente cu joc mic; 3 — elemente de joc mare.

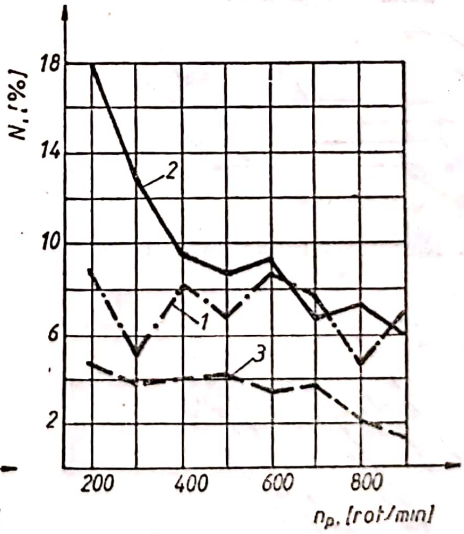


Fig. N.15. Variația gradului de neuniformitate în funcție de turație la o pompă de injecție echipată cu supapă de refulare:
1 — sarcină plină; 2 — sarcină parțială; 3 — suprasarcină.

ţa cea mai importantă o au jocurile cuplului de piese care alcătuiesc elementul de refulare. Pentru un joc normal, corespunzător toleranţelor de împerechere a pistonului-sertar cu cilindrul (elemente de joc prescris), gradul de neuniformitate atinge, la anumite regimuri de funcţionare ale echipamentului de injecţie cercetat, aproape 50% (Fig. N.14). La elementele de refulare cu joc mare, de ordinul celor care se formează în exploatare prin uzură, gradul de neuniformitate poate fi de cîteva ori mai mare.

Variaţia jocului dintre gulerul de descărcare şi alezajul scaunului supapei de refulare, în cadrul toleranţelor de împerechere, determină grade de neuniformitate care se ridică la valori de ordinul 18% (Fig. N.15) la o doză injectată corespunzătoare sarcinilor parţiale (40 mm³/ciclu) şi la valori mai mici, 8,5% şi, respectiv, 4,5%, în cazul dozelor injectate corespunzătoare sarcinii pline (74 mm³/ciclu) şi, respectiv, suprasarcinii (135 mm³/ciclu).

Diferenţele de formă geometrică a elementelor componente ale secţiunii de pompare introduc, de asemenea, grade de neuniformitate importante. Rezultatele prezentate în figura N.16 au fost obţinute în

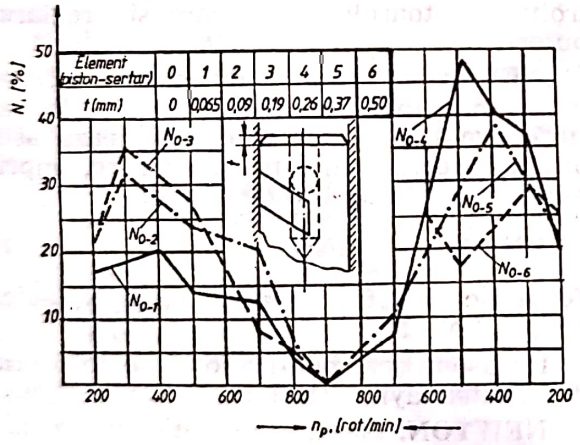


Fig. N.16. Variaţia gradului de neuniformitate în funcţie de turaţie, la o pompă de injecţie echipată cu elemente de refulare.

condiţiile în care o pompă de injecţie în linie a fost echipată cu elemente de refulare care s-au deosebit numai prin înălţimea teşiturii muchiei frontale a capului pistonului-sertar.

O influenţă însemnată asupra gradului de neuniformitate a injecţiei o introduce şi fenomenul de formare a golurilor pe traseul de înaltă presiune. Încercările comparative efectuate cu un echipament de injecţie la care se formează goluri pe traseul de înaltă presiune şi un echipament care evită practic complet golurile au arătat că pentru toate celelalte condiţii neschimbate, gradul de neuniformitate s-a redus de la circa 30% la circa 1%, la turaţia pompei de 500 rot/min (Fig. N.17).

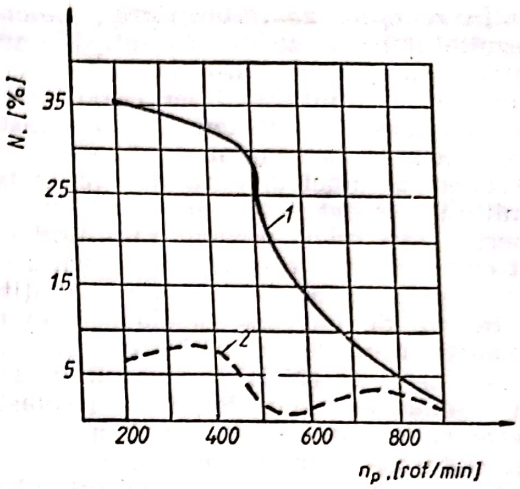


Fig. N.17. Variaţia gradului de neuniformitate în funcţie de turaţie pentru două echipamente de injecţie diferite: *1* — cu goluri; *2* — fără goluri.

NEUMANN, Franz Ernst. Fizician, matematician şi mineralog german (1798—1895). A efectuat cercetări în domeniul opticii şi al electricităţii, asupra polarizării şi refracţiei luminii şi a dat prima expresie matematică a legii inducţiei.

A fost printre cei care au verificat proporţionalitatea dintre conductibilitatea termică şi cea electrică, prevăzută în secolul al XVIII-lea de către Franklin şi Achard. A dovedit că raportul conductibilităţilor depinde de diferenţele de temperatură şi de potenţialul care intervine în măsurări. De asemenea, a arătat că la cristalele de gips şi borax unghiul feţelor, unghiul axelor optice şi orientarea lor variază cu temperatura la care sînt supuse.

NEUTRON. Particulă elementară fără sarcină electrică, cu masa de 1,00897 uam (1 uam = $1{,}66 \cdot 10^{-24}$ g), puţin mai mare decît a unui proton, prezent în nucleele tuturor atomilor mai grei decît hidrogenul. În stare liberă, **n.** este instabil şi se dezintegrează cu un timp de înjumătăţire de circa 13 minute într-un proton, un electron şi un neutrino. Fiind fără sarcină electrică, **n.** nu suferă nici nu fel de repulsie electrică cînd se apropie din exterior de nucleul (încărcat electric pozitiv) unui atom. **N.** are o importanţă fundamentală în producerea energiei nucleare. Menţine reacţia de fisiune în lanţ dintr-un reactor nuclear.

Interacţiunea n. cu materia. Reacţiile **n.** cu materia sînt de două categorii: reacţii de împrăştiere şi reacţii de absorbţie.

Scanned with OKEN Scanner

În *reacțiile de împrăștiere (ciocnire)*, rezultatul final este un schimb de energie între particulele (n-nucleu), care se ciocnesc, **n.** rămînînd liber după ciocnire. Se deosebesc: a) Reacții de împrăștiere inelastică, în care un **n.** rapid este inițial capturat de nucleu, care devine instabil, emițînd imediat după aceea un **n.** cu o energie mai mică, nucleul rămînînd excitat cu diferența de energie pe care o emite ulterior sub formă de radiații γ; b) Reacții de împrăștiere elastică, în care ciocnirea **n.**-nucleu este de tip elastic, cu conservarea energiei și impulsului. După un număr suficient de ciocniri elastice, viteza **n.** este redusă la o valoare de același ordin de mărime cu energia cinetică a atomilor (moleculelor) mediului, ultima depinzînd de temperatura acestuia. Ca atare, **n.** termici sînt acei **n.** în echilibru termic cu atomii (moleculele) mediului în care ei sînt prezenți.

În *reacțiile de absorbție*, **n.** este reținut de nucleu și formează un nou nucleu instabil. Din punctul de vedere al reactoarelor nucleare, cele mai importante reacții de absorbție sînt: a) Captura radiativă, o reacție de tipul (**n.** γ), în care un **n.** lovind un nucleu îl transformă într-un izotop instabil, care este γ radioactiv:

$$_zX^A + {}_0n^1 \rightarrow [{}_zX^{A+1}]^* \rightarrow {}_zX^{A+1} + \gamma.$$

Captura radiativă este cea mai frecventă reacție de absorbție de **n.** în reactoarele nucleare; b) Fisiunea (v. Fisiune). Interacțiunea **n.** cu materia se exprimă, pentru un nucleu, cu ajuorul secțiunii eficace microscopice σ, care reprezintă o măsură a probabilității de realizare a unei anumite reacții cu **n.** (de împrăștiere, de absorbție), definită ca o suprafață de reacție aferentă nucleului. Pentru un nucleu unitatea de măsură este barnul (1 barn = 10^{-24} cm^2). Pentru 1 cm^3 de material, care conține N atomi (molecule) se definește secțiunea eficace macroscopică $\Sigma = N\sigma$, exprimată în cm^2/cm^3 sau cm^{-1}.

N. rapizi, termici, epitermici. Reactoarele nucleare, ca dispozitive destinate conversiei energiei nucleare în energie termică, sînt caracterizate prin faptul că volumul lor este ocupat de un gaz de **n.** cu viteze și energii diferite. Prin reacția de fisiune se produc **n. rapizi** cu viteze ridicate și energii mai mari decît aproximativ 100 000 electron-volți (eV). **N. termici** sînt **n.** în echilibru termic cu mediul în care ei evoluează. **N.** termici sînt obținuți din **n.** rapizi, prin încetinirea acestora printr-o succesiune de nuclee ale unui material moderator, pînă la o viteză medie de circa 2 200 m/s (la temperatura camerei), cînd energia lor este de ordinul a 0,025 eV; această viteză este similară aceleia a moleculelor de gaz la temperatura ambiantă. Interesul deosebit pentru obținerea **n.** termici provine din faptul că probabilitatea reacției de fisiune cu **n.** termici este cu mult mai mare decît pentru **n.** rapizi (de exemplu, pentru uraniul-235, secțiunea eficace de fisiune cu **n.** rapizi este $\sigma_f = 1{,}44$ barn, iar cu n. termici $\sigma_f = 577$ barn). **N. epitermici** sau **intermediari** sînt **n.** cu energii cuprinse între aproximativ 0,5 eV și 100 000 eV.

N. prompți, n. întîrziați. În urma reacției de fisiune sînt puși în libertate **n.** care se împart în două categorii, din punctul de vedere al momentului apariției lor, și anume: **n.** prompți și **n.** întîrziați. **N. prompți** reprezintă peste 99% din totalul **n.** de fisiune produși și sînt emiși imediat după procesul de fisiune în mai puțin de 10^{-14} s. **N.** prompți constituie elementul determinant în desfășurarea în continuare a reacției de fisiune, ca reacție în lanț încetinită. **N. întîrziați** reprezintă mai puțin de 1% din totalul **n.** produși și sînt emiși de către produsele de fisiune radioactive, pe parcursul unei perioade de ordinul secundelor sau minutelor, intensitatea emiterii lor scăzînd în timp. **N.** întîrziați constituie elementul determinant în controlul reactoarelor nucleare și reglarea puterii acestora.

NEWTON. Unitatea de măsură a forței în sistemul internațional de unități de măsură, egală cu forța care acționează asupra unui corp avînd masa de 1 kg, imprimîndu-i o accelerație de 1 m/s^2:

$$1\ \text{N} = 1[\text{kg}] \cdot 1[\text{m/s}^2]$$

Forța de 1 kgf reprezintă 9,806 N, adică 1 kgf = 9,806 N.

De asemenea, pentru forță se tolerează și unitatea dyn, astfel că 1 N = 10^5 dyn.

NEWTON, Isaac. Matematician, fizician și astronom englez (1642—1727). A descoperit legile atracției universale (1687). Pe baza principiilor sale, se va demonstra ulterior legea conservării energiei mecanice ca o teoremă. A propus ecuația convecției $Q = \alpha S \Delta T$ și a stabilit legea constanței temperaturii la schimbarea de fază, respectiv la topire și solidificare (1701).

NIVEL. Valoare a unei mărimi, măsurată ca diferență față de valoarea aleasă ca referință. Noțiunea este asociată de regulă unor mărimi fizice, ca înălțimea, temperatura, energia, potențialul.

N. hidrostatic este **n.** repartiției libere a unui lichid în repaus în cîmpul gravitațional, folosit pentru indicarea unei

Scanned with OKEN Scanner

diferențe de presiune sau a unei presiuni relative.

N. piezometric este înălțimea unei coloane de lichid, echivalentă cu suma presiunilor statică și dinamică a fluidului de curgere.

N. de intensitate acustică este logaritmul zecimal al raportului între intensitatea (presiunea) sonoră efectivă și cea de referință care, de regulă, este de 1 bel= $2 \cdot 10^{-4}$ bar.

N. de intensitate auditivă este mărimea egală cu de zece ori logaritmul zecimal al raportului între intensitatea (presiunea) auditivă și cea de referință 1 fon=$2 \cdot 10^{-4}$ bar.

N. de presiune acustică este valoarea exprimată în decibeli (dB), egală cu de douăzeci de ori logaritmul zecimal al raportului între presiunea acustică efectivă și cea de referință.

NIVEL DE ENERGIE. Valori posibile ale energiei unui sistem cvasistatic aflat în stări staționare. Uneori, există mai multe stări staționare cu același nivel energetic.

N. de e. al electronului este valoarea (exprimată de regulă în eV) reprezentînd energia totală a electronului pe orbită, adică suma energiei lui potențiale și cinetice.

N. de e. al atomului reprezintă valorile discrete pe care le poate lua energia atomului, caracterizate prin valori întregi sau semiîntregi atribuite numerelor cuantice.

N. de e. fundamental (normal) este nivelul în care are cea mai mică valoare posibilă.

N. de e. excitat este nivelul la care poate ajunge un sistem cuantic prin interacțiunea cu exteriorul.

N. de e. de rezonanță este un nivel cu probabilitate mare de revenire directă în starea fundamentală.

N. de e. metastabil este un nivel cu probabilitate mică de revenire directă în stare fundamentală.

N. de e. Fermi reprezintă nivelul maxim al electronului în absența agitației termice (la O K), atins în sistemele de electroni cu interacțiune slabă (electronii atomilor dintr-o rețea cristalină). Energia corespunzătoare lui este egală cu potențialul chimic la O K, raportat la o particulă.

NIVELMETRU. Aparat pentru măsurarea nivelului substanțelor lichide sau solide. Se poate folosi, de asemenea, pentru semnalizare și pentru reglajul nivelului.

N. pentru lichide măsoară fie înălțimea suprafeței lichidului deasupra unui nivel de referință, fie înălțimea coloanei de lichid sub acțiunea presiunii hidrostatice.

Pentru măsurare se folosesc:

— **metode de măsură directe,** care constau în observarea înălțimii coloanei de lichid cu ochiul liber sau cu ajutorul unui plutitor, prin închiderea unui circuit electric la contactul lichidului cu un electrod, cu ajutorul fluxului luminos dirijat prin coloana de lichid către o celulă fotoelectrică, folosind unde reflectate pe suprafața liberă a lichidului sau radiații emise de o sursă radioactivă;

— **metode de măsură indirecte,** constînd în măsurarea presiunii hidrostatice sau a altor parametri termici sau electrici ai lichidului; prezintă erori, în general mai mari decît metodele directe.

Există următoarele variante (tipuri) constructive de **n.:**

— **N. cu plutitor:** a) cu scripete simplu (Fig. N.18); pentru creșterea

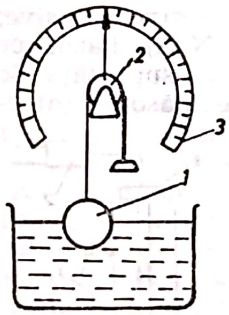


Fig. N.18. Nivelmetru cu plutitor:
1 — plutitor; *2* — scripete; *3* — scară gradată.

sensibilității (pînă la 0,5 mm) se poate atașa un mecanism asemănător celui de ceas; b) cu convertor analogic, care permite transmiterea semnalului la distanță și are o sensibilitate de 0,1 mm;

— **N. magnetic** (Fig. N.19), la care variația nivelului lichidului determină deplasarea magnetului exterior și, sub influența lui, a magnetului situat în interiorul tubului de măsură și legat la indicator; se poate folosi la presiuni de pînă la 5 000

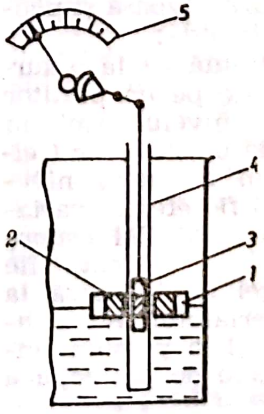


Fig. N.19. Nivelmetru magnetic:
1 — plutitor; *2* — magnet exterior; *3* — magnet interior; *4* — tub de ghidare; *5* — scară gradată.

bar, în substanțe corosive, toxice, inflamabile, explozive, dar din cauza preciziei slabe (4—8 mm), este întrebuințat mai mult pentru semnalizarea depășirii limitelor domeniului admis;

— **N. hidrostatic,** care măsoară fie presiunea hidrostatică la baza coloanei de lichid (variabilă cu înălțimea acesteia), utilizînd un manometru, cel cu mercur

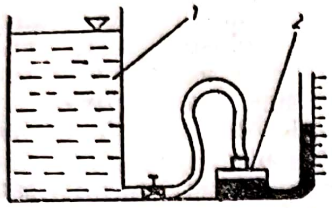


Fig. N.20. Nivelmetru hidrostatic cu mercur:
1 — rezervor; *2* — manometru cu tub.

(Fig. N.20) fiind mai răspîndit, fie presiunea unui gaz comprimat (aer), care echilibrează presiunea hidrostatică a lichidului. Se folosește pentru fluide agresive, corosive;

— **N. ultrasonic** (Fig. N.21), bazat pe reflectarea ultrasunetelor la suprafața de separație a două medii; se măsoară inter-

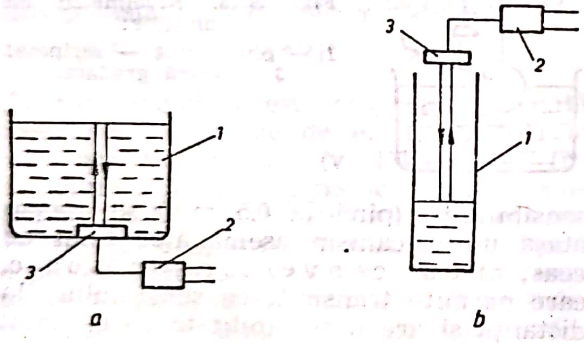


Fig. N.21. Nivelmetru ultrasonic:
a — măsurători la lichide; *b* — măsurători la gaze; *1* — rezervor; *2* — comutator-receptor; *3* — traductor.

valul de timp între emisia trenului de unde incidente și recepția impulsului reflectat; se realizează în două variante: pentru măsurători din faza gazoasă și pentru măsurători din faza lichidă;

— **N. cu radiație** obținută de la o sursă radioactivă, plasată fie pe un plutitor (Fig. N.22*a*), fie la nivelul minim (Fig. N.22*b*) și captată de un detector Geiger-Müller, situat la sau deasupra nivelului maxim. Se măsoară fie efectul variației grosimii stratului de material asupra intensității semnalului recepționat, fie efectul variației distanței de la sursă la suprafața liberă a materialului. Se utilizează în medii corosive și la presiuni indirecte, cu măsuri speciale de protecție a personalului;

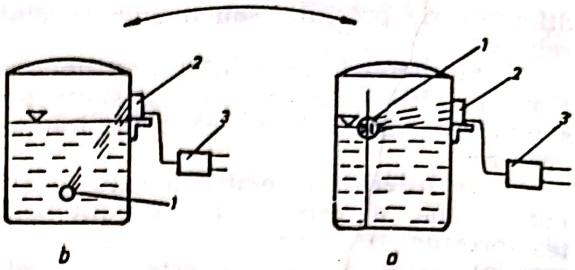


Fig. N.22. Nivelmetru cu sursă de radiații:
a — fixă; *b* — cu plutitor; *1* — sursă de radiații; *2* — contor Geiger-Müller; *3* — preamplificator.

— **N. electronic,** care utilizează un oscilator electronic de înaltă frecvență ce intră sau iese din oscilație la creșterea, respectiv scăderea nivelului lichidului față de valoarea stabilită. Semnalul se poate amplifica permițînd transmiterea lui la distanță sau acționarea unor relee;

— **N. electronic cu electrozi de probă** (Fig. N.23), la care semnalul electric ce

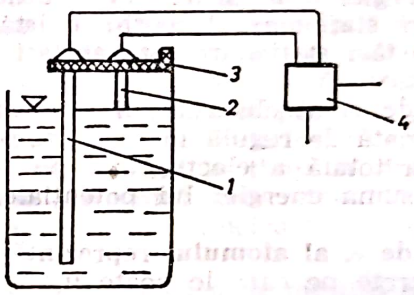


Fig. N.23. Nivelmetru cu electrozi de probă:
1—2 — electrozi; *3* — suport izolator; *4* — releu electric sau electronic.

apare prin închiderea circuitului format din electrod, lichid și peretele rezervorului este folosit pentru acționarea unor relee de automatizare;

— **N. capacitiv** (Fig. N.24), care măsoară variația capacității unui condensator,

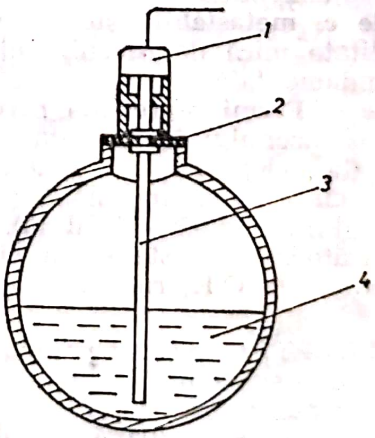


Fig. N.24. Nivelmetru capacitiv:
1 — cap de măsură; *2* — suport izolator; *3* — electrod; *4* — lichid.

cu variația nivelului lichidului; pentru lichidele dielectrice, condensatorul este constituit din electrodul vertical al aparatului și peretele vasului; pentru lichidele bune conducătoare, condensatorul este constituit din electrodul vertical, izolat și lichidul bun conducător. Erorile de măsură sînt determinate de existența neomogenităților (bule de vapori în emulsii, suspensii), ca și de variația temperaturii.

N. pentru solide sub formă de granule sau pulberi sînt **n.** cu raze gama, **n.** capacitive etc., iar pentru măsurarea variației nivelului în jurul unui reper, **n.** capacitive, sau **n.** cu contact electric.

NOMOGRAMĂ. Reprezentare grafică într-un plan a relației dintre două sau mai multe variabile, care se utilizează pentru determinarea pe cale grafică a valorii uneia sau a mai multor dintre variabile, în funcție de valorile numerice date celorlalte variabile.

Avantajele calculului nomografic sînt următoarele: reducerea timpului de calcul; concentrarea calculelor; limitarea erorilor; punerea în evidență a corelației dintre valorile diferitelor variabile și dintre diferitele date și rezultate; obținerea soluțiilor și pentru problemele inversate (nereversibilitate).

De aceea, **n.** se folosește în special la calcule termotehnice, în transmiterea căldurii, la calcularea unor parametri la motoarele cu ardere internă, la turbinele cu abur, la instalațiile frigorifice etc.

Orice **n.** trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

— citirea rapidă a rezultatelor, cu precizie suficientă;

— rezolvarea tuturor cazurilor care se pot întîlni din punct de vedere al valorilor numerice ale variabilelor conținute;

— construcție ușoară;

— receptarea facilă și de către nespecialiști.

Clasificarea n.:

După numărul de mărimi corelate grafic:

— **n. pentru două mărimi variabile;**

— **n. pentru trei mărimi variabile;**

— **n. pentru mai multe mărimi variabile.**

După sistemul de reprezentare grafică a relației dintre mărimi:

— **n. cu două puncte aliniate;**

— **n. reticulare;**

— **n. mixte;**

— **n. cu scară funcțională.**

După complexitate:

— **n. simple;**

— **n. complexe.**

Caracteristicile principalelor tipuri de **n.**

N. simplă. Se folosește la reprezentarea grafică a relației dintre două sau trei mărimi variabile.

N. compusă. Se obține prin combinarea a două sau a mai multor **n.** simple, cu puncte aliniate sau reticulare. Se folosește la reprezentarea grafică a relației dintre patru sau mai multe mărimi variabile.

N. auxiliară. Se folosește pentru determinarea valorii unei mărimi auxiliare, printr-o relație reprezentată într-o **n.**

N. cu puncte aliniate. La această **n.** relația dintre mărimile variabile se reprezintă prin diferite sisteme de puncte coplanare, distribuite după o anumită lege. Se folosește pentru trei sau mai multe mărimi variabile și poate fi cu puncte izolate sau cu puncte distribuite pe anumite linii, numite suporturi cotate sau scări. Aceste **n.** pot avea numai scări rectilinii sau numai scări curbilinii, eventual scări rectilinii și scări curbilinii. Scările pot fi uniforme sau neuniforme (funcționale). Scările funcționale sînt logaritmice, de puteri, trigonometrice, proiective etc. Cînd se reprezintă relația dintre trei mărimi variabile, se folosesc **n.** cu puncte aliniate simple, care pot fi: cu trei drepte paralele, cu trei drepte concurente, cu drepte dispuse în formă de N, cu două drepte și o curbă, cu două curbe și o dreaptă, cu trei curbe etc. La reprezentarea relației dintre patru sau mai multe mărimi variabile, se folosesc **n.** cu puncte aliniate, compuse, obținute prin combinarea a două sau a mai multor **n.** simple.

N. mixtă. Reprezintă relații între mai multe mărimi variabile și este formată din două sau mai multe **n.** simple, dintre care cel puțin una este o **n.** cu puncte aliniate și cel puțin una este o **n.** reticulară. În acest caz, scara de legătură este și scară de rețea și scară de puncte aliniate.

N. parțială. Se folosește pentru reprezentarea grafică a unei părți dintr-o relație și se utilizează cînd funcțiile nu se pot transforma într-o reprezentare printr-o singură **n.**

N. reticulară. Se folosește pentru funcții cu două, cu trei sau cu mai multe variabile, în ultimul caz **n.** fiind compusă. La aceste **n.** relația dintre mărimi este reprezentată prin două sau prin mai multe sisteme izoplete (linii ale căror puncte corespund pentru fiecare dintre ele unei aceleiași valori numerice a funcției) care formează o rețea și cu ajutorul cărora se pot citi direct valorile numerice ale funcției, pentru diferite valori ale varia-

Scanned with OKEN Scanner

bilei sau ale variabilelor independente de care depinde.

N. scară funcțională. Este o **n.** cu puncte aliniate, folosită pentru reprezentarea unei relații cu două variabile $y=f(x)$, constituită dintr-o scară dublă, adică de o linie, avînd un punct origine și dublu sens. Pe această linie se trasează, de cele două părți, două scări cotate corespunzător celor două variabile.

NUCLEU. Partea centrală dintr-un atom, care are sarcină electrică pozitivă și aproape întreaga masă a atomului.

Din punctul de vedere al constituției, un **n.** este alcătuit dintr-un număr de protoni, care au sarcină electrică pozitivă și dintr-un număr de neutroni, fără sarcină electrică. Masa protonului este practic egală cu masa neutronului, ambele fiind aproximativ egale cu o unitate atomică de masă (1 uam $=1{,}66\cdot10^{-24}$ g se definește ca 1/16 din masa izotopului ${}_8O^{16}$ al oxigenului). Protonii și neutronii sînt denumiți, în general, nucleoni. **N.** este înconjurat de un număr de electroni, cu sarcină electrică negativă, egal cu numărul de protoni, astfel încît un atom este neutru din punct de vedere electric. Toate **n.** atomilor, cu excepția aceluia al hidrogenului obișnuit, conțin pe lîngă protoni unul sau mai mulți neutroni.

Pentru un element dat, numărul de protoni existent în **n.**, egal cu numărul de sarcini electrice pozitive ale **n.**, este denumit **numărul atomic** al elementului respectiv, notat de obicei, cu simbolul Z. El reprezintă numărul de ordine al elementului respectiv în tabelul periodic al elementelor. Numărul total de nucleoni (protoni și neutroni) dintr-un **n.** atomic este denumit **numărul de masă** al elementului respectiv și este notat cu A. În acest fel, un **n** este alcătuit din Z protoni și din $A-Z$ neutroni. Un **n.** cu numărul atomic Z și cu numărul de masă A se notează, de regulă, cu ${}_ZX^A$.

N. care au același număr atomic Z (deci același număr de protoni și aceeași poziție în tabelul periodic al elementelor), dar au un număr diferit de neutroni (deci numere de masă A diferite), reprezintă **izotopi** ai aceluiași element. **N.** cu numere atomice Z diferite, dar cu același număr de masă A, au același număr total de nucleoni și se numesc **izobari. N.** care au aceleași numere atomice Z și aceleași numere de masă A și diferă între ele prin unele proprietăți radioactive (de exemplu, prin timpul de înjumătățire) se numesc **izomeri.**

Se numește *defect de masă* diferența dintre masa reală a unui **n.** (atom) și suma maselor nucleonilor constituenți. Defectul de masă (DM) este legat de energia de legătură (EL) a particulelor în **n.** Un atom neutru electric conține un **n.** alcătuit din Z protoni și $A-Z$ neutroni, iar în exteriorul **n.**, Z electroni. Dacă $m_p=1{,}007596$ uam, $m_n=1{,}008986$ uam și $m_e=0{,}000549$ uam reprezintă, respectiv, masa unui proton, neutron și electron, atunci suma maselor constituenților unui atom este $Zm_p+Zm_e+(A-Z)m_n$. Dacă masa atomului izotopului repectiv este M, atunci defectul de masă DM este:

$$DM=[Z(m_p+m_e)+(A-Z)m_n]-M=Zm_H+(A-Z)m_n-M,$$

în care m_p+m_e a fost înlocuit cu masa atomului de hidrogen $m_H=1{,}008145$ uam. Relația permite calculul defectului de masă pentru orice izotop din natură a cărui masă M se cunoaște.

Potrivit conceptului de echivalență dintre masă și energie, bazat pe teoria relativității, defectul de masă este o măsură a energiei care ar fi eliberată, dacă Z protoni și $A-Z$ neutroni separați ar fi combinați pentru a forma un **n.** (se apreciază că numărul de Z electroni contribuie într-o mică măsură la energia de legătură). Altfel spus, defectul de masă este numeric egal cu energia care ar trebui furnizată pentru a desface un **n.** în nucleonii săi constituenți. În acest sens, energia echivalentă E care se dezvoltă este denumită *energie de legătură* a **n.**

Dacă m_n este descreșterea de masă care apare într-un proces oarecare, atunci energia echivalentă E care se dezvoltă este dată de ecuația lui Einstein:

$$E=mc^2,$$

unde $c=2{,}998\cdot10^{10}$ cm/s este viteza luminii; în această ecuație, E se exprimă în erg, iar m în g. În fizica nucleară, energia este exprimată, de obicei, în electron-volt (eV), cu relația de echivalență 1 MeV $=10^6$ eV $=1{,}602\cdot10^{-6}$ erg. Exprimînd masa m în uam (1 uam $=1{,}66\cdot10^{-24}$ g), ecuația lui Einstein se poate exprima în forma:

$$E[\text{MeV}]=931\ \text{m}\ [\text{uam}].$$

Cu ajutorul acestei ecuații se poate determina energia de legătură EL a **n.** în MeV, înmulțind defectul de masă DM cu 931. O mărime mai utilă este energia medie de legătură pe nucleon, egală cu energia totală de legătură (EL) raportată

Scanned with OKEN Scanner

la numărul de nucleoni, respectiv la numărul de masă A, obținîndu-se:

$$\frac{EL}{A} = \frac{931}{A}\,[1{,}008145\ Z + 1{,}00898\ (A-Z) - M].$$

În figura M.25, este reprezentată energia medie de legătură pe nucleon pentru diferite elemente, calculată cu relația de

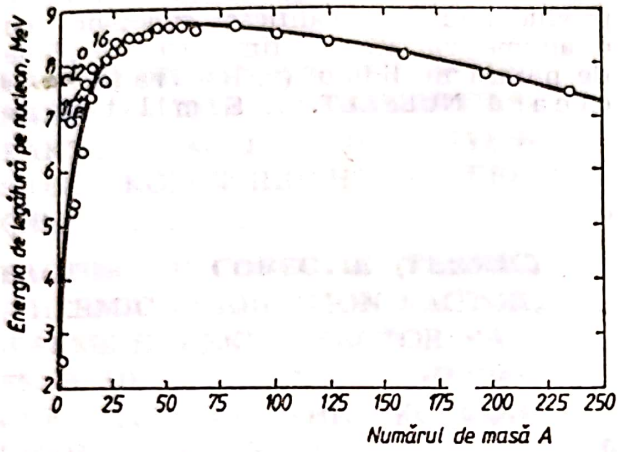


Fig. N.25. Variația energiei de legătură pe nucleon, în funcție de numărul de masă A.

mai sus, în funcție de numărul de masă A, existînd o curbă pe care se înscriu majoritatea punctelor. Această curbă arată că energia de legătură pe nucleon este relativ scăzută pentru **n.** cu număr de masă A mic, dar crește cu creșterea numărului de masă pînă la un maxim de aproximativ 8 MeV pentru zona de variație a numărului de masă A aproximativ de la 50 la 75; în continuare, energia de legătură pe nucleon descrește continuu. Rezultă de aici, că un proces în care un **n.** (sau nuclee) cu o energie de legătură pe nucleon scăzută, deci mai puțin stabil, este transformat în alte **n.** cu o energie de legătură pe nucleon mai ridicată, deci mai stabile, trebuie să fie însoțit de degajarea unei cantități de energie. Ca urmare, rezultă din figura N.25 că se poate obține energie prin combinarea (sau fuziunea) **n.** ușoare sau prin spargerea (sau fisiunea) **n.** cu număr de masă mare.

Dimensiunile lineare ale **n.** sînt de ordinul de mărime a 10^{-12} cm. Raza **n.** este o funcție crescătoare cu numărul de masă A, putînd fi reprezentată, aproximativ, prin relația:

$$R = (1{,}2 \ldots 1{,}5)\ 10^{-13}\ A^{1/3} \quad [\text{cm}],$$

de unde rezultă că volumul **n.** este aproximativ proporțional cu numărul de masă, respectiv, că volumul pe nucleon este practic constant.

N. poate avea un moment cinetic propriu, numit *spin nuclear*. Valoarea lui este egală cu un număr întreg sau semiîntreg de unități $h/2\pi$ de moment cinetic (h fiind constanta lui Planck), spinul fiind nul sau întreg pentru **n.** cu A par și semiîntreg pentru **n.** cu A impar. Toate **n.** pentru care atît A, cît și Z sînt pare au spin nul în starea lor normală.

Între nucleonii care constituie un **n.** se exercită patru tipuri de forțe: *forțe de gravitație*, neglijabile în comparație cu celelalte tipuri, *forțe electrice coulombiene* între protoni, *forțe magnetice* între nucleonii cu momente magnetice (mult mai slabe) și *forțe nucleare*, care sînt aceleași, oricare ar fi nucleonii (proton-proton, neutron-neutron sau proton-neutron) între care se exercită, deci, forțe care nu depind de sarcina electrică a nucleonilor. Forțele coulombiene sînt invers proporționale cu pătratul distanțelor dintre protoni, fiind forțe cu rază de acțiune relativ mare, pe cînd forțele nucleare sînt forțe cu rază de acțiune mică, de ordinul a 10^{-13} cm. O consecință a acestor distanțe mici este aceea că forța totală de atracție dintr-un **n.** este practic proporțională cu numărul de nucleoni prezenți. Aceasta este cauza principală a valorii aproximativ constante a energiei de legătură pe nucleon pe un interval relativ larg al numărului de masă A (Fig. N.25). Forța totală de respingere electrostatică dintre toți protonii din **n.** este proporțională cu pătratul numărului acestora, respectiv, cu Z^2.

Stabilitatea unui **n.** depinde de raportul dintre numărul de neutroni și de protoni din **n.** Se cunosc circa 270 de specii nucleare (nuclizi). La majoritatea **n.** stabile cu număr de masă mic, pînă la 40, numărul de protoni și de neutroni este aproximativ egal, astfel încît raportul neutron/proton este egal sau puțin mai mare decît unitatea. Cu creșterea numărului de masă, se constată că un **n.** este stabil numai dacă el conține mai mulți neutroni decît protoni. Astfel, pentru **n.** stabile cele mai grele, cu numărul de masă 80 sau mai mult, raportul numărului de neutroni/protoni crește la aproximativ 1,5. Anumite **n.** au o stabilitate deosebită; acestea conțin așa-numitele *numere magice* și anume 2, 8, 20, 50 sau 82 de protoni sau 2, 8, 20, 50, 82 sau 126 de neutroni. Un exemplu de stabilitate asociată numerelor magice îl constituie staniul (Sn), care are 50 de protoni în **n.** său și se găsește în natură sub forma a 10 izotopi stabili.

Scanned with OKEN Scanner

Stabilitatea specială a **n.** *magice* este atribuită prezenței straturilor complete (sau închise) de neutroni sau de protoni (sau ambelor). După cum elementele inerte, heliu, neon, argon etc., care au niveluri complete de electroni, au stabilitate chimică mare, tot așa speciile nucleare cu numere magice de nucleoni prezintă o stabilitate nucleară deosebită.

În scopul menținerii stabilității, **n.** trebuie să conțină o proporție mai mare de neutroni, astfel încît forțele de atracție neutron-neutron și neutron-proton să poată compensa creșterea rapidă a forțelor de repulsie dintre protoni, proporționale cu Z^2. Există totuși o limită a excesului de neutroni față de numărul de protoni pe care un **n.** îl poate conține și să rămînă încă stabil. Ca urmare, elementele cu numărul de masă 84 sau mai mari nu mai au izotopi stabili. Deși elementele 84 (poloniu) pînă la 92 (uraniu) există în natură, ele sînt instabile și prezintă fenomenul de *radioactivitate*, în care în **n.** se produc anumite modificări spontane cu o anume variație în timp, care depinde de natura nuclidului (v. Radiație nucleară **NUSSELT.** v. Similitudine

GLOSAR

F

FACTOR DE CONVERSIE [CONVERSION FACTOR; KONVERSIONSFAKTOR; FACTEUR DE CONVERSION; КОЕФФИЦИЕНТ КОНВЕРСИИ] 5

FACTOR DE CORECȚIE (TERMIC) [THERMIC CORRECTION FACTOR; WÄRME KOREKTURFACTOR; FACTEUR DE CORRECTION THERMIQUE; ТЕРМИЧЕСКИЙ КОЕФФИЦИЕНТ ПОПРАВКИ] 6

FACTOR CRITIC [CRITIC FACTOR; KRITISCHE FAKTOR; FACTEUR CRITIQUE; КРИТИЧЕСКИЙ КОЕФФИЦИЕНТ] 8

FACTOR ENERGETIC DE ABSORBȚIE [ENERGETIC ABSORBTION FACTOR; LEISTUNGSABSORBTIONSFACTOR; FACTEUR ÉNERGÉTIQUE D'ABSORBTION; КОЕФФИЦИЕНТ ПОГЛОЩЕНИЯ] . . . 9

— Prima lege a lui Kirchoff
— Corp negru absolut
— Corp cenușiu
— Coeficient de absorbție specific
— Factor spectral de radiație

FACTOR ENERGETIC DE EMISIE [ENERGETIC EMISSION FACTOR; LEISTUNGSFAKTOR DES AUSLASSES; FACTEUR ÉNERGÉTIQUE D'EMMISION; СТЕПЕНЬ ЧЕРНОТЫ] 10

— Corp negru absolut
— Prima lege a lui Kirchoff
— Legea Stefan-Boltzmann
— Coeficient de radiație
— Constanta Stefan-Boltzmann
— Corp cenușiu

FAHRENHEIT (Scară de temperatură) [TEMPERATURE SCALE; TEMPERATURSKALA; ÉCHELLE DE TEMPERATURE; ТЕМПЕРАТУРНАЯ ШКАЛА ФАРЕНГЕЙТА] . . . 10

FAHRENHEIT, DAVID GABRIEL

FAMILIE DE MOTOARE [ENGINE GROUP; MOTORENFAMILIE; FAMILLE DE MOTEURS; СЕМЕЙСТВО ДВИГАТЕЛЕЙ] 12

FANTĂ [SLIT; SCHLITZ; FENTE; ЩЕЛЬ] 13

— Fanta segmentului
— Fanta pistonului

FASCICUL TUBULAR [TUBE BEAM; ROHRARTIGER BUNDEL; FASCICULE TUBULAIRE; ТРУБЧАТЫЙ ПУЧОК] 13

FAZĂ (în chimie) [PHASE (în chemistry); PHASE (Chemie); PHASE (en chimie); ФАЗА (в химии)] . . 15

— Sistem omogen
— Sistem eterogen
— Sistem monofazic
— Sistem polifazic
— Legea fazelor

FAZE DE DISTRIBUȚIE [DISTRIBUTION PHASES; STEUERPHASEN; PHASES DE DISTRIBUTION; ФАЗНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ] 15

— Diagrama presiune-unghi de rotație arbore
— Diagrama fazelor de distribuție
— Epura forțelor de distribuție

FEREASTRĂ DE CONTROL A CARTERULUI [CRANKCASE SIGHT-HOLE; GEHAUSE GUCKLOCH; FENÊTRE DE CONTROL DU CARTER; ЛЮК КАРТЕРА] 16

FERESTRE DE BALEIAJ ȘI FERESTRE DE EVACUARE [SCAVENGING WINDOWS AND EXHAUST WINDOWS; SPUHLSCHLITZEN UND AUSPUFSCHLITZEN; FENÊTRES DE BALAYAGE ET FENÊTRES D'EVA-

Scanned with OKEN Scanner

CUATION; ПРОДУВОЧНЫЕ ОКНА И ВЫПУСКНЫЕ ОКНА] 17
— Baleiaj în echicurent
— Baleiaj în buclă
— Baleiaj în buclă deschisă
— Baleiaj în buclă închisă

FIERBĂTOR. v. VAPORIZATOR [BOILER; SIEDEANLAGE; VAPORISATEUR; КИПЯТИЛЬНИК] . . . 19

FIERBERE [BOILING; SIEDEN; EBULLITION; КИПЕНИЕ] 19
— Fierbere de suprafață
— Fierbere de volum
— Fierbere liberă
— Fierbere forțată
— Fierbere nucleată
— Fierbere în film
— Fierbere la saturație
— Fierbere la subrăcire
— Fierbere prin convecție liberă, în volum mare
— Fierbere nucleată la subrăcire, în volum mare
— Fierbere nucleată la saturație, în volum mare
— Fierbere de tranziție, în volum mare
— Fierbere în film, în volum mare
— Fierbere peliculară, în volum mare
— Fierbere în convecție forțată
— Fierbere locală la subrăcire, în convecție forțată
— Fierbere nucleată la subrăcire, în convecție forțată
— Vaporizare în convecție forțată
— Fierbere intermediară în convecție forțată
— Fierbere prin convecție forțată monofazică gazoasă
— Criza fierberii
— Flux critic unitar

FILM DE LUBRIFIANT (Film de ungere) [LUBRICATING LAYER; ÖLFILM; FILM LUBRIFIANT; СМАЗОЧНАЯ ПЛЁНКА] 22

FILTRARE [FILTRATION; FILTERUNG; FILTRATION; ФИЛЬТРОВАНИЕ] 22

FILTRU DE AER (pentru motoare termice) [AIR FILTER (for thermic engines); LUFTFILTER (für Verbrennungsmotoren); FILTER D'AIR (pour moteurs à combustion interne); ВОЗДУШНЫЙ ФИЛЬТР (для двигателей внутреннего сгорания)] . . . 23
— Filtru de aer cu element filtrant
— Filtru de aer centrifugal
— Filtru de aer cu baie de ulei

FILTRU DE APĂ [WATER FILTER; WASSERFILTER; FILTRE D'EAU; ВОДЯНОЙ ФИЛЬТР] 24
— Filtru de apă lent
— Filtru de apă rapid
— Filtru de apă ultrarapid

FILTRU DE COMBUSTIBIL [FUEL FILTER; BRENNSTOFFILTER; FILTRE DE COMBUSTIBLE; ТОПЛИВНЫЙ ФИЛЬТР] 25
— Grad de filtrare
— Filtru de epurare brută
— Filtru de epurare fină
— Filtru de epurare prealabilă (preventivă)

FILTRU DE GAZE [GAZ FILTER; GASFILTER; FILTRE DE GAZ; ГАЗОПОГЛОТИТЕЛЬ] 26

FILTRU DE ULEI [OIL FILTER; ÖLFILTER; FILTRE D'HUILE; МАСЛЯНЫЙ ФИЛЬТР] 27
— Prag de filtrare
— Filtru de epurare fină
— Filtru de epurare brută
— Filtru cu membrană filtrantă
— Filtru cu sită metalică
— Filtru cu discuri
— Filtru cu element filtrant din hîrtie
— Filtre active
— Filtre centrifugale

FINEȚE DE MĂCINARE [GRINDING FINENESS; MAHLFEINHEIT; FINESSE DU MOULU; КРУПНОСТЬ ПОМОЛА] 28

FIREBALL (Cameră de ardere) [COMBUSTION CHAMBER; VERBRENNUNGSKAMMER; CHAMBRE DE COMBUSTION; КАМЕРА СГОРАНИЯ] 28

FISIUNE [FISSION; SPALTUNG; FISSION; ДЕЛЕНИЕ] 28

Scanned with OKEN Scanner

— Energia de fisiune
— Particule neutrino
— Materiale fisionabile, materiale fertile
— Izotopi fisionabili
— Dezintegrare radioactivă
— Captură radioactivă
— Mecanismul fisiunii nucleare
— Echivalentul energetic al defectului de masă
— Produse de fisiune
— Excesul de energie
— Energie cinetică de fisiune
— Probabilitatea reacției de fisiune
— Secțiune eficace
— Neutroni de fisiune
— Neutroni promți
— Neutroni întîrziați
— Randament de fisiune
— Puterea unui reactor nuclear
— Căldura de dezintegrare radioactivă a produselor de fisiune
— Perioadă de calmare

FLACĂRĂ [FLAME; FLAMME; FLAME; ПЛАМЯ] 32
— Zonă de reacție
— Descompunere termică
— Căldura de reacție a combustibilului
— Propagarea flăcării
— Caracteristica reacției chimice
— Flacără laminară
— Front de flacără
— Viteză laminară (normală)
— Viteză de propagare a flăcării laminare
— Flacără turbulentă
— Front de aprindere
— Viteza de propagare a flăcării turbulente

FLUAJ [CREEP; KRIECHFLISSEN; FLOUAGE; ПОЛЗУЧЕСТЬ] . . . 34
— Viteză de fluaj
— Curbă teoretică de fluaj
— Fluaj primar
— Fluaj staționar
— Fluaj terțiar
— Limită termică de fluaj
— Rezistență tehnică de durată

FLUCTUAȚIE [FLUCTUATION; SCHWANNUNG; FLUCTUATION; ТЕКУЧЕСТЬ] 35
— Fluctuație de densitate
— Fluctuație de energie

FLUID [FLUID; FLUSSIGKEIT; FLUIDE; ЖИДКОСТЬ] 36
— Fluid perfect
— Fluid real
— Fluid vîscos
— Fluid incompresibil
— Fluid compresibil

FLUIDITATE [FLUIDITY; FLUIDITÄT; FLUIDITÉ; ЖИДКОТЕКУЧЕСТЬ] 36

FLUIDIZARE [FLUIDISATION; VERFLUSSIGUNG; FLUIDISATION; ПЛАВЛЕНИЕ] 36
— Stare de fluidizare
— Viteza critică de fluidizare
— Viteza de plutire

FLUX [FLUX; FLUSS; FLUX; ПОТОК] 37
— Flux magnetic
— Flux de energie
— Flux de căldură
— Flux de particule
— Densitatea fluxului
— Flux de energie sonoră
— Tub de flux

FLUX TERMODINAMIC [TERMODYNAMIC FLUX; VÄRMEFLUSS; FLUX TERMODINAMIQUE; ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОТОК] . . 38
— Ecuații fenomenologice
— Coeficienți fenomenologici
— Legea lui Fick
— Legea lui Fourier
— Legea lui Ohm

FOCAR [FURNACE; FEUERRAUM; FOYER; ТОПКА] 38
— Grad de încărcare a focarului
— Focare pentru combustibili gazoși
— Focare pentru combustibili lichizi
— Focare pentru combustibili solizi
— Focare cu grătar
— Focare pentru arderea combustibilului pulverizat

Scanned with OKEN Scanner

FORMAREA AMESTECULUI [MIXTURE AIR-FUEL FORMING; GEMISCHBILDUNG (Luft-Brennstoff); LA FORMATION DU MELANGE (air-combustible); СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕ] 40
— Carburaţie
— Injecţie
FORŢĂ [FORCE; KRAFT; FORCE; СИЛА] 41
— Forţă de expansiune
— Forţă de presiune
— Forţă termică
— Forţă de tracţiune
— Forţă de propulsie
FORŢĂ GENERALIZATĂ [GENERALIZED FORCE; KRAFT IM ALLGEMEINEN; FORCE GÉNÉRALISÉE; ОБОБЩЕННАЯ СИЛА] 41
FORŢE TERMODINAMICE [THERMODYNAMIC FORCES; THERMODYNAMISCHE KRÄFTE; FORCES THERMODYNAMIQUES; ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СИЛЫ] 42
FOURIER, JOSEPH 42
FOURIER (Legea lui) [FOURIER'S LOW; FOURIER GESETZ: LA LOI DE FOURIER; ЗАКОН ФУРЬЕ] . 42
FRACŢIE MASICĂ [MASS FRACTION; MASSENFRAKTION; FRACTION MASSIQUE; МАССОВАЯ ДОЛЯ] 43
FRACŢIE MOLARĂ [MOLAR FRACTION; MOLFRAKTION; FRACTION MOLAIRE; МОЛЬНАЯ ДОЛЯ] . . 43
FRACŢIONARE [FRACTIONATION; FRAKTIONIEREN; FRACTIONNEMENT; ФРАКЦИОНИРОВКА] . . 43
— Distilare fracţionată
— Rectificare
— Cristalizare fracţionată
— Extracţie
— Dizolvare fracţionată
— Cromatografie
— Fracţionare prin adsorbţie
— Fracţionarea ţiţeiului
FRACŢIUNE DE COMBUSTIBIL [FUEL FRACTION; BRENNSTOFFRAKTION; FRACTION DE COMBUSTIBLE; ТОПЛИВНАЯ ФРАКЦИЯ] 46
— Compoziţie fracţionată
FREON [FREON; FREON; FRÉON; ФРЕОН] 46
FRIG [COLD; KALTE; FROID; ХОЛОД] 48
FRIGIDER [REFRIGERATOR; KUHLSCHRANK; RÉFRIGÉRATEUR; ХОЛОДИЛЬНИК] 48
— Răcitor
— Frigider casnic
— Frigider comercial
— Depozite frigorifice
FRIGORIE [NEGATIVE CALORIE; KALTEEINHEIT; FRIGORIE; ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ КАЛОРИЯ] 48
FRIGORIFIC (Agent) [REFRIGERATING AGENT; KALTEMITTEL; AGENT FRIGORIFIQUE; ХОЛОДИЛЬНЫЙ АГЕНТ] 50
— Agent frigorific cu temperatură de vaporizare coborîtă
— Aerul ca agent frigorific
— Soluţii frigorifice
— Apa ca agent frigorific
FRIGORIFIC (Lanţ) [REFRIGERATING CHAIN; KÜHLKETTE; CHAÎNE FRIGORIFIQUE; ХОЛОДИЛЬНАЯ ЦЕПЬ] 53
FRIGORIFICĂ (Navă) [REFRIGERATED SHIP; KÜHLRAUMSCHIFF; BATEAU FRIGORIFIQUE; ХОЛОДИЛЬНОЕ СУДНО] 54
FRIGORIFIC (Vagon) [REFRIGERATED WAGON; KÜHLRAUMWAGGON; WAGON FRIGORIFIQUE; ХОЛОДИЛЬНЫЙ ВАГОН] 54
FRIGORIFIC (Vehicul) [REFRIGERATED VEHICLE; KÜHLWAGEN; VEHICULE FRIGORIFIQUE; ХОЛОДИЛЬНЫЙ АВТОМОБИЛЬ] . . . 54
FRIGORIFICĂ (Cameră) [REFRIGERATED ROOM; KÜHLRAUM; CHAMBRE FRIGORIFIQUE; ОХЛАЖДАЕМАЯ КАМЕРА] 54
FRIGOTEHNICĂ [COLD ENGINEERING; KÄLTETECHNIK; FRIGOTECHNIQUE; ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА] 54

Scanned with OKEN Scanner

FRÎNA DE ÎNCERCARE [TEST BRAKE; VERSUCHSBREMSE; STAND D'ESSAIE; ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ТОРМОЗ] 54
— Frînă hidraulică
— Frînă electrică
— Frînă cu curenţi turbionari
FUGACITATE [FUGACITY; VERFLUCHTIGUNG; FUGACITÉ; ЛЕТУЧЕСТЬ] 57
— Entalpie liberă molară
— Presiune caracteristică
— Coeficient de fugacitate
FUM [SMOKE; RAUCH; FUMÉE; ДЫМ] 58
FUMMETRU [SMOKEMETER; RAUCHMESSGERÄT; FUMMETRE; ДЫМОМЕР] 58
— Fummetru fotoelectric
— Gradul de fum
— Scara Hartridge
— Fummetru cu filtru
FUNCŢIE DE CURENT [FLOW FUNCTION; STROMUNGSFUNKTION; FONCTION DE COURANT; СТРУЙНАЯ ФУНКЦИЯ] 59
FUNCŢIE TERMODINAMICĂ [THERMODYNAMIC FUNCTION; THERMODINAMISCHE FUNKTION; FONCTION THERMODINAMIQUE; ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ] 60
— Energia internă ca funcţie termodinamică
— Entalpia ca funcţie termodinamică
— Energia liberă ca funcţie termodinamică
— Entalpia liberă ca funcţie termodinamică
FUNCŢIONARE CONTINUĂ [CONTINUOUS RUNNING; DAUERBETRIEB; FONCTIONNEMENT CONTINU; НЕПРЕРЫВНАЯ РАБОТА] 62
FUNCŢIONARE INTERMITENTĂ [INTERMITTENT RUNNING; UNTERBROCHENER BETRIEB; FONCTIONNEMENT INTERMITENT; ПРЕРЫВИСТАЯ РАБОТА] 62
FUNINGINE [SOOT; RUSS; SUIE; КОПОТЬ] 62
FUS [PIN; WELLENSTUMMEL; TOURILLON; ХВОСТИК] 62
— Fus maneton
— Fus palier
FUZIBILITATE [FUSIBILITY; SCHMELZBERKEIT; FUSIBILITÉ; ПЛАВКОСТЬ] 62
FUZIUNE TERMONUCLEARĂ [NUCLEAR FUSION; KERNVERSCHMELZUNG; FUSION NUCLÉAIRE; ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ] 62
— Reacţie de fuziune nucleară
— Intensitatea reacţiei de fuziune nucleară
— Temperaturi critice
— Reactoare de fuziune nucleară
— Temperaturi critice
— Reactoare de fuziune nucleară
— Confinare magnetică
— Fuziune granulară
— Sistemul TOKAMAK
— Sistemul TETA-PINCH
— Sistemul de oglindă magnetică
— Instalaţii cu capcane magnetice închise
— Implozie rapidă

G

GALERIE DE ADMISIE; GALERIE DE EVACUARE [INLET (EXHAUST) MANIFOLD; ANSAUGLEITUNG (AUSLASSLEITUNG); PIPE D'ADMISSION (D'ECHAPPEMENT); ВСАСЫВАЮЩИЙ (ВЫСАСЫВАЮЩИЙ) ТРУБОПРОВОД] 67
GALVANOMETRU TERMIC [THERMIC GALVANOMETER; THERMISCHER GALVANOMETER; GALVANOMÈTRE THERMIQUE; ТЕПЛОВОЙ ГАЛЬВАНОМЕТР] 68
— Efectul Seebeck
— Randamentul aparatelor cu termocuplu
— Termocuplu cu încălzire directă
— Efectul Peltier
— Curent de etalonare
— Termocuplu cu încălzire indirectă

Scanned with OKEN Scanner

— Efectul inductanței
— Efectul capacității parazite
GAMĂ DE TURAȚII [SPEED RANGE; DREHZAHLBEREICH: PLAGE DE REGIME MOTEUR; ДИАПАЗОН ВРАЩЕНИЯ] 70
GARNITURĂ DE ETANȘARE [SEAL; DICHTUNG; JOINT D'ÉTANCHÉITÉ; УПЛОТНЯЮЩАЯ ПРОКЛАДКА] 70
— Garnitură de culasă
GAZ [GAS; GAS; GAZ; ГАЗ] 71
— Gaz ideal (perfect)
— Gaz real
— Vapori
— Gaz inert
— Gaz carburant
— Gaz combustibil
— Gaz uscat
— Gaz lichefiat
— Gaz natural
— Gaz metan
— Gaz de generator
— Gaz de ardere
— Gaze de ardere uscate
— Gaz rezidual
— Gaze de evacuare
— Gaze recirculate
— Gaz bogat
— Gaz de apă
— Gaz de cocserie
— Gaz de furnal
— Gaz de iluminat
— Gaz de oraș
— Gaz de sinteză
— Gaz de sondă
— Gaz sărac
GAZEIFICARE [GASIFICATION; VERGASUNG; GAZÉIFICATION; ГАЗИФИКАЦИЯ] 75
— Gazeificare sub presiune
— Gazeificare în pat fluidizat
— Gazeificare cu evacuare zgurii lichide
— Indici de gazeificare
GAZODINAMICĂ (Termogazodinamică) [DINAMICS OF GAS; GASODYNAMIC; GASODYNAMIQUE; ДИНАМИКА ГАЗОВ] 77
— Ecuația continuității
— Ecuațiile de mișcare
— Ecuația energiei
— Curgere internă
— Curgere cu schimb de căldură
— Curgere cu frecare
— Curgere fanno
— Curgere externă
— Perturbații în curgerea gazelor
— Unda de șoc
— Unda de compresiune
— Salt de presiune și temperatură
— Curgere adiabatică
— Adiabata lui Hugoniot
— Gazodinamica în mașinile rotative și reactive
— Ecuațiile fundamentale ale curgerii unidirecționale
— Ecuația conservării energiei la curgerea unidirecțională
— Ecuația cantității de mișcare (impulsului)
— Ecuația momentului cantității de mișcare
— Ecuația mișcării turbionare
— Ajutaje și difuzoare
— Ajutaj geometric fără frecare
— Ajutaj convergent-divergent (supersonic)
— Ajutaj convergent (subsonic sau sonic)
— Ajutaj geometric cu frecare
— Difuzorul
— Ajutaj termic
— Ajutaj mecanic
— Ajutaj de debit
— Curgerea gazelor prin canale sau conducte lungi
— Curgerea adiabatică cu frecare
— Curgerea cu schimb de căldură
GAZOGEN [GAZ GENERATOR; GASERZEUGER, GAZOGÈNE; ГАЗОГЕНЕРАТОР] 87
GAZOLINĂ [NATURAL GASOLINE; GASOLIN; GAZOLINE; ГАЗОЛИН] 89
— Gazolină stabilizată
GAZOMETRU [GASMÈTER; GASMESER; GAZOMÈTRE; ГАЗОМЕТР] 89
GAY-LUSSAC, LOUIS JOSEPH . . 89
GAY-LUSSAC (Legea lui) [LOW OF

GAY LUSSAC; GAY-LUSSAC GESETZ; LA LOI DE GAY-LUSSAC; ЗАКОН ГЕЙ-ЛЮССАКА] 89
GEL [GEL; GEL; GEL; ГЕЛЬ] . . 90
— Gelificare
— Sistem dispers eterogen
— Elasticitatea gelurilor
— Proprietăţile mecanice ale gelurilor
— Tixotropia gelurilor
— Memoria gelurilor
— Conductivitatea electrică a gelurilor
— Sinereza gelurilor
— Organogeluri
— Cristalogeluri
GENERATOR DE ABUR (pentru centrale nuclearo-electrice) [STEAM GENERATOR (for nuclear power plants); DAMPFERZEUGER (für Kernelectrischenzentralen); GENERA- atomiques); ПАРОГЕНЕРАТОР (ДЛЯ ЯДЕРНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИАХ)] . 91
— Generatoare de abur pentru reactoare cu apă uşoară sub presiune (PWR)
— Generatoare de abur cu apă grea sub presiune (PANR)
— Generatoare de abur cu agenţi primari gazoşi
— Generatoare de abur cu metale topite (FBR)
GENERATOR DE CĂLDURĂ [HEAT GENERATOR; WÄRMEERZEUGER; GÉNÉRATEUR THERMIQUE DE CHALEUR; ТЕРМИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР] 97
GENERATOR DE GAZE CU PISTOANE LIBERE [FREE PISTONS COMBUSTION ENGINE; FREIKOLBEN GASERGENGER; GÉNÉRATEUR DE GAZ À PISTONS LIBRES; ГАЗОГЕНЕРАТОР С СВОБОДНЫМИ ПОРШНЯМИ] 97
GENERATOR MAGNETOHIDRODINAMIC (MHD) [MAGNETOHYDRODYNAMIC GENERATOR; MAGNETOHYDRODINAMISCHER GENERATOR; GÉNÉRATEUR MAGNÉTOHYDRODYNAMIQUE; МАГНЕТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР] 103
GHEAŢĂ [ICE; EIS; GLACE; ЛЁД] 109
— Gheaţă naturală
— Gheaţă artificială (translucidă, transparentă, antiseptică)
— Gheaţă cristal
— Gheaţă de fund (aciculară, coroliformă, discuri, boabe de mazăre)
— Gheaţă minus
— Gheaţă transparentă
GHID DE SUPAPĂ [VALVE GUIDE; VENTILFÜHRUNG; GUIDE DE SOUPAPE; НАПРАВЛЯЮЩАЯ КЛАПАНА] 110
GIBBS, WILLARD 111
GIBBS (Potenţial) [GIBBS potential; GIBBS potential; potential de GIBBS; ПОТЕНЦИАЛ ГИББСА] 112
GIBBS (Regula fazelor lui) [GIBBS PHASE RULE; GIBBS PHASEREGEL; LA RÈGLE DES PHASES DE GIBBS; Правило фаз ГИББСА] . . 113
GRAD DE AVANSARE A REACŢIEI [ADVANCING REACTION DEGREE; FORTSCHREITUNGSGRAD EINER REAKTION; DEGRÉ D'AVANCEMENT DE LA RÉACTION; СТЕПЕНЬ ОПЕРЕЖЕНИЯ РЕАКЦИИ] 113
GRAD DE DISOCIERE [DISSOCIATION DEGREE; ZERSPALTUNGSGRAD; DEGRÉ DE DISSOCIATION; СТЕПЕНЬ ДИССОЦИАЦИИ] . . . 114
— Grad de disociere electrolitică
— Coeficientul izotonic i
— Masa moleculară aparentă
— Constanta de disociere
— Legea diluţiei a lui Ostwald
— Grad de disociere termică
— Constanta de echilibru K_p
— Legea acţiunii maselor a lui Guldberg şi Waage
GRAD DE FUM [SMOKE DEGREE; RAUCHWERT; DEGRÉ DE FUMÉE; СТЕПЕНЬ ДЫМА] 116
— Fum alb
— Fum albastru strălucitor
— Fum negru
GRAD DE IONIZARE [IONIZATION

DEGREE; IONISATIONSGRAD; DEGRÉ D'IONISATION; ИОНИЗИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ] 116
GRAD DE UMPLERE [DEGREE OF FULNESS; FÜHLUNGSGRAD; DEGRÉ DE REMPLISSAGE; СТЕПЕНЬ НАПОЛНЕНИЯ] . . . 116
GRAD TERMOMETRIC [THERMOMETRIC DEGREE, TERMOMETRISCHERWERT; DEGRÉ THERMOMÉTRIQUE; ТЕРМОМЕТРИЧЕСКИЙ ГРАДУС] 117
— Grad centigrad
— Grad Celsius
— Grad Kelvin
— Grad Reaumur
— Grad Fahrenheit
— Grad Rankine
GRADE DE LIBERTATE [DEGRES OF FREEDOM, FREIHEITSGRADEN; DEGRÉS DE LIBERTÉ; СТЕПЕНИ СВОБОДЫ] 117
— Grade de libertate în termodinamica chimică
GRADIENT DE TEMPERATURĂ [TEMPERATURE GRADIENT; TEMPERATURGRADIENT, GRADIENT DE TEMPÉRATURE; ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ГРАДИЕНТ] 118
GRĂTAR [GRATE; ROST; GRIL; РЕШЁТКА] 118
— Suprafaţa totală a grătarului
— Încărcarea mecanică specifică a grătarului
— Încercarea termică specifică aparentă a grătarului
— Grătare fixe
— Grătare mecanice
— Grătar rulant cu lanţ
— Grătar cu împingere (directă, în cascadă; oscilant, cu împingere răsturnată)
GRIPARE [GRIPPING; ANFRESSUNG, GRIPAGE; ПРИГОРАНИЕ] . 120
GRUP [GROUP; GRUPPE; GROUPE; АГРЕГАТ] 121
GRUP ELECTROGEN [GENERATING SET; STROMERZEUGER; GROUPE ÉLECTROGÈNE; ЭЛЕКТРОАГРЕГАТ] 121
GRUP ENERGETIC [ENERGETING UNIT; ENERGIEERZEUGER; GROUPE ÉNERGÉTIQUE; ЭНЕРГОАГРЕГАТ] 121
— Grup energetic de tip electrogen
— Grup energetic de tip hidrogenerator
— Grup energetic de tip turbogenerator (cu condensaţie pură, cu condensaţie şi prize reglabile, cu contrapresiune şi prize reglabile, cu termoficare)
— Grup energetic turbogenerator cu turbine cu gaze
GRUP MOTOCOMPRESOR [MOTOR-COMPRESSOR SET; MOTOKOMPRESSOR-ANLAGE; GROUPE MOTOCOMPRESSEUR; МОТОКОМПРЕСОРНЫЙ АГРЕГАТ] . . . 125
GURĂ DE ASPIRAŢIE [INLET HOLE; AUSAUGÖFNUNG; BOUCHE D'ASPIRATION; ВСАСЫВАЮЩЕЕ ОТВЕРСТИЕ] 125
GURĂ DE VIZITARE [MANHOLE; GUCKLOCH, BOUCHE D'ACCÈS; СМОТРОВОЙ ЛЮК] 125

H

HELIU [HELIUM; HELIUM; HELIUM; ГЕЛИЙ] 126
HELMHOLTZ, von HERMAN . . 127
HENRY (Legea lui) [HENRY'S LAW; HENRY GESETZ; LA LOI D'HENRY; ЗАКОН ГЕНРИ] 127
HERON (CAMERĂ DE ARDERE) [HERON (COMBUSTION CHAMBER); HERON-VERBRENNUNGSRAUM; CHAMBRE DE COMBUSTION TYPE HERON; КАМЕРА СГОРАНИЯ ГЕРОН] 127
HESS (Legea) [HESS LAW; HESS GESETZ; LA LOI DE HESS; ЗАКОН ГЕССА] 128
HIDRATARE [HYDRATATION; FEUCHTIGKEITSANNAHME; HYDRATATION; ГИДРАТАЦИЯ] . 128
HIDRAULICĂ [HYDRAULICS; HYDRAULIK; HYDRAULIQUE; ГИДРАВЛИКА] 129

Scanned with OKEN Scanner

— Calculul conductelor
— Calculul canalelor
— Scurgerea prin orificii și ajutaje
— Scurgerea peste deversoare

HIDROCARBURI [HYDROCARBONS; KOHLENWASSERSTOFFVERBINDUNGEN; HYDROCARBURES; УГЛЕВОДОРОДЫ] 130
— Hidrocarburi saturate
— Hidrocarburi saturate aciclice (alcani, parafine)
— Alcani cu catena liniară
— Alcani cu catena ramificată (izoalcani)
— Hidrocarburi saturate ciclice (cicloalcani, cicloparafine)
— Hidrocarburi nesaturate cu dublă legătură (alchene, olefine)
— Sinteză dren și polimerizare
— Olefine
— Hidrocarburi nesaturate cu legătură triplă (acetilene, alchine)
— Hidrocarburi aromatice
— Hidrocarburi aromatice mononucleare
— Hidrocarburi aromatice polinucleare

HIDRODINAMICĂ [HYDRODINAMICS; HYDRODYNAMIK; HYDRODYNAMIQUE; ГИДРОДИНАМИКА] 131
— Hidrodinamica fluidului perfect
— Ecuațiile lui Euler
— Ecuațiile lui Lamb-Gromeka
— Integrala Lagrange-Cauchy
— Integrala Bernoulli
— Mișcarea irotațională
— Ecuația Laplace
— Mișcarea irotațională plană
— Hidrodinamica fluidului real
— Formula lui Newton
— Fluide reale newtoniene incompresibile
— Ecuațiile Navier-Stokes
— Ecuațiile Stokes aplicate mișcărilor lente
— Teoria stratului limită (ecuația Prandtl)
— Relația lui Newton
— Ecuațiile Reynolds

HIDROFOR [WATER SUPPLY PLANT; WASSERDRUCKKESSEL; HYDROPHORE; ГИДРОФОР] . . . 134
— Grad de compresare a debitului
— Volum pulsator în hidrofor
— Grad de iregularitate a presiunii în hidrofor
— Oscilații hidraulice
— Instalații de hidrofoare

HIDROFUG [WATERPROOF; WASSERABSTOSSEND; HYDROFUGE; ВЛАГОУПОРНЫЙ] 136
— Sistem hidrofil
— Sistem hidrofob

HIDROGEN [HYDROGEN; WASSERSTOFF; HYDROGÈNE; ВОДОРОД] . 136

HIDROSTATICĂ [HYDROSTATICS; HYDROSTATIK; HYDROSTATIQUE; ГИДРОСТАТИКА] 140

HIGROMETRU [HYGROMETER; HYGROMETER; HYGROMÈTRE; ГИГРОМЕТР] 142
— Higrometru cu absorbție
— Higrometru cu fir de păr
— Higrometru cu condensație

HIGROSCOPICITATE [HYGROSCOPICITY; HYGROSCOPIZITÄT; HYGROSCOPICITÉ; ВЛАГОЁМКОСТЬ] 143

HUILĂ [BITUMINOUS COAL; STEINKOHLE; HOUILLE; КАМЕННЫЙ УГОЛЬ] 143
— Huilă antracitoasă
— Huilă cu flacără lungă
— Huilă cu flacără scurtă
— Huilă de cocs
— Huilă de gaz
— Huilă grasă
— Huilă slab degresată

I

IGNIFUGARE [FIREPROOFING; FEUERSCHÜTZUNG; TRAITEMENT IGNIFUGE; ПРИДАНИЕ ОГНЕУПРУГОСТИ] 145
— Ignifugare superficială
— Ignifugare în profunzime
— Grad de ignifugare

IMPLOZIE [IMPLOSION; IMPLOSION; IMPLOSION; ИМПЛОЗИЯ] . 145

Scanned with OKEN Scanner

IMPULS [IMPULSE; IMPULS; IMPULSION; ИМПУЛЬС] 145
INCOMPRESIBILITATE [INCOMPRESSIBILITY; UNVERDICHTBER; INCOMPRESSIBILITÉ; НЕСЖИМАЕМОСТЬ] 146
INDICATOR DE NIVEL [LEVEL INDICATOR; NIVEAUANZEIGER; INDICATEUR DE NIVEAU; УКАЗАТЕЛЬ УРОВНЯ] 146
INDICATOR DE PRESIUNE A GAZELOR DIN MOTOARE [ENGINE GAS PRESSURE INDICATOR; DRUCKANZEIGER DER GASEN IN VERBRENNUNGSMOTOREN; INDICATEUR DE LA PRESSION DES GAZ DE MOTEURS; УКАЗАТЕЛЬ ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВ В ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ] 147
— Indicator mecanic
— Indicator optic
— Indicator electric
— Indicator electric conductiv
INDICATOR DE PRESIUNE MAXIMĂ [MAXIMUM PRESSURE INDICATOR; MAXIMAL DRUCKANZEIGER; INDICATEUR DE PRESSION MAXIMALLE; УКАЗАТЕЛЬ МАКСИМАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ] . 148
INDICATOR STROBOSCOPIC [STROBOSCOPE INDICATOR; STROBOSKOPISCHES MESSEGERÄT; INDICATEUR STROBOSCOPIQUE; СТРОБОСКОПИЧЕСКИЙ ИНДИКАТОР] 148
INDICE DIESEL [DIESEL INDEX; DIESEL KENNZIFFER; INDICE DIESEL; ДИЗЕЛЬНЫЙ ИНДЕКС] 149
INDICE DE pH [pH INDEX; pH KENNZIFFER; INDICE DE pH; ВОДОРОДНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ] . . . 149
INDICE TEHNICO-ECONOMIC [TECHNICAL-ECONOMIC INDEX; TECHNISCHWIRTSCHAFTLICHES KENNWERT; TECHNIQUE-ECONOMIQUE INDICE; ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ] . . 149
INDICI CARACTERISTICI AI MOTOARELOR CU ARDERE INTERNĂ [CHARACTERISTIC INDEX OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES; TECHNISCHWIRTSCHAFTLICHES KENNWERTE DER VERBRENNUNGSMOTOREN; INDICES TECHNO-ECONOMIQUES DES MOTEURS À COMBUSTION INTERNE; ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ] 151
— Presiunea medie indicată
— Lucrul mecanic indicat
— Randamentul termic indicat real
— Puterea indicată
— Consumul specific indicat de combustibil
— Presiunea medie efectivă
— Randamentul mecanic
— Randamentul efectiv
— Consumul specific efectiv de combustibil
INEL DE ETANȘARE [PACKING RING; ABDICHTUNGRING; BAGUE D'ÉTANCHÉITÉ; УПЛОТНЯЮЩЕЕ КОЛЬЦО] 153
INERȚIE TERMICĂ [THERMIC INERTIA; WÄRMETRÄGHEIT; INERTIE THERMIQUE; ТЕРМИЧЕСКАЯ ИНЕРЦИЯ] 153
INFLAMABILITATE [INFLAMABILITY; ZÜNDWILLIGKEIT; INFLAMABILITÉ; ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТЬ] 154
INHIBARE [INHIBITION; TRÄNKUNG; INHIBITION; ИНГИБИРОВАНИЕ] 154
INHIBITOR [INHIBITOR; VERZÖGERER; INHIBITEUR; ЗАМЕДЛИТЕЛЬ] 154
— Perioadă de inhibare
— Inhibitor de acidifiere
— Inhibitor de cataliză
— Inhibitor de coroziune
— Inhibitor de depunere a crustei
— Inhibitor de îmbătrînire
— Inhibitor de oxidare
— Inhibitor de polimerizare
INJECȚIE [INJECTION; EINSPRITZUNG; INJECTION; ВПРЫСК] 155
— Injecție mecanică
— Injecție cu acumulare

Scanned with OKEN Scanner

— Injecție pneumatică
— Injecție electronică
— Injecție pilot
— Cantitatea de combustibil injectat pe ciclu
— Presiunea de injecție
— Durata injecției
— Caracteristica de injecție

INJECTOR [INJECTOR; EINSPRITZDÜSE; INJECTEUR; ФОРСУНКА] . 158
— Injectoare închise
— Injectoare deschise
— Injectoare hidraulice
— Injectoare mecanice
— Injectoare electromagnetice
— Injectoare de motorină
— Injectoare de benzină
— Injectoare de combustibil greu
— Injectoare de hidrogen
— Injector Pintaux

INSTALAȚIE CRIOGENICĂ [CRIOGENIC PLANT; TIEFKÜHLANLAGE; INSTALLATION CRYOGÉNIQUE; КРИОГЕННАЯ УСТАНОВКА] 166
— Instalații de lichefiere
— Instalații de separare
— Instalații de refrigerare

INSTALAȚIE FRIGORIFICĂ [REFRIGERATING PLANT; KÜHLANLAGE; INSTALLATION FRIGORIFIQUE; ХОЛОДИЛЬНАЯ УСТАНОВКА] 169
— Instalații de producerea frigului prin procese termodinamice deschise
— Instalații de producerea frigului prin procese termodinamice ciclice
— Instalații de producerea frigului prin efect electrotermic
— Instalații de producerea frigului prin efect magnetocaloric
— Instalații cu comprimare mecanică de vapori
— Instalații cu comprimare de aer
— Instalații cu comprimare de vapori cu ejector
— Instalații cu absorbție
— Instalații cu absorbție-difuzie
— Instalații cu destinderea unui gaz într-un cîmp centrifugal
— Instalații cu răcire termoelectrică
— Instalații cu adsorbție

INSTALAȚIE DE AER COMPRIMAT [COMPRESSED AIR INSTALLATION; DRUCKLUFTANLAGE; INSTALLATION D'AIR COMPRIMÉ; УСТАНОВКА СЖАТОГО ВОЗДУХА] 176

INSTALAȚIE DE ALIMENTARE CU APĂ [WATER SUPPLY EQUIPMENT; WASSERSORGUNGSANLAGE; INSTALLATION D'ALIMENTATION À EAU; ВОДОСНАБЖАЮЩАЯ СИСТЕМА] 178

INSTALAȚIE DE ALIMENTARE CU COMBUSTIBIL [FUEL SUPPLY EQUIPMENT; BRENNSTOFFSPEISEANLAGE; SYSTÈME D'ALIMENTATION À COMBUSTIBLE; ТОПЛИВОПОДАЮЩАЯ СИСТЕМА] . . . 179

INSTALAȚIE DE ALIMENTARE CU COMBUSTIBIL (pentru centrale termoelectrice [FUEL SUPPLY EQUIPMENT FOR THERMOELECTRIC POWER PLANTS; BRENNSTOFFSPEISEANLAGE FÜR ELEKTRISCHE KRAFTWERKE; INSTALLATION D'ALIMENTATION À COMBUSTIBLE POUR CENTRALES TERMOÉLECTRIQUE; ТОПЛИВОПОДАЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ] . . . 179
— Instalații de alimentare cu combustibil gazos
— Instalații de alimentare cu combustibil lichid
— Instalații de alimentare cu cărbune

INSTALAȚIE DE APRINDERE [IGNITION SYSTEM; ZÜNDANLAGE; INSTALLATION D'ALLUMAGE; СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ] 186
— Instalație de aprindere pentru motoare cu ardere internă
— Instalație de aprindere pentru cazane și cuptoare industriale

INSTALAȚIE DE ARDERE [COMBUSTION EQUIPMENT; BRENNAN-

Scanned with OKEN Scanner

LAGE; INSTALLATION DE COMBUSTION; ТОПОЧНАЯ УСТАНОВКА] 187
— Instalaţie de ardere pentru combustibili gazoşi
— Instalaţie de ardere pentru combustibili lichizi
— Instalaţie de ardere pentru combustibili solizi
— Instalaţie de ardere combinate pentru mai multe tipuri de combustibili

INSTALAŢIE DE ÎNCĂLZIRE [BOILER PLANT; HAIZANLAGE; INSTALLATION DE CHAUFFAGE; ОТОПИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА] . . 195

INSTALAŢIE DE RĂCIRE (COOLING PLANT; KÜHLANLAGE; INSTALLATION DE REFROIDISSEMENT; СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ] . . . 195
— Instalaţie de răcire cu apă
— Instalaţie de răcire cu aer

INSTALAŢIE DE TERMOFICARE [THERMAL POWER STATION; FERNHEIZUNGSANLAGE; CHAUFFAGE CENTRAL; ТЕПЛОФИКАЦИОННАЯ УСТАНОВКА] 204

INSTALAŢIE TERMICĂ [THERMIC PLANT; WÄRMEANLAGE; INSTALLATION THERMIQUE; ТЕПЛОВАЯ СИСТЕМА] 204

INSTALAŢIE TERMICĂ DE FORŢĂ [POWER PLANT; WÄRMEKRAFTANLAGE; INSTALLATION THERMIQUE DE FORCE; ТЕПЛОСИЛОВАЯ УСТАНОВКА] 205
— Motoare cu ardere internă
— Instalaţii cu turbine cu gaze
— Motoare cu reacţie
— Instalaţii de forţă cu abur
— Ciclul general de funcţionare al instalaţiilor termice de forţă
— Randamentul instalaţiilor termice de forţă

INSUFLARE [BLAST AIR; EINBLASUNG; INSOUFFLAGE; ВДУВАНИЕ] 209

INTERACŢIUNE MOLECULARĂ [MOLECULAR INTERACTION; INTERMOLEKULARE EINWIRKUNG; INTERACTION MOLÉCULAIRE; МОЛЕКУЛЯРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ] 209

INTERVAL DE FIRBERE [BOILING RANGE; SIEDEBEREICH; INTERVALLE D'EBULLITION; ИНТЕРВАЛ КИПЕНИЯ] 209

INTERVAL DE SOLIDIFICARE [SOLIDIFYING RANGE; ERSTARUNGSBEREICH; INTERVALLE DE SOLIDIFICATION; ПРЕДЕЛЫ ТЕМПЕРАТУР ЗАТВЕРДЕВАНИЯ] 211

INTERVAL DE TEMPERATURĂ [TEMPERATURE RANGE; TEMPERATURBEREICH; INTERVALLE DE TEMPÉRATURE; ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ИНТЕРВАЛ] 214

IONI [IONS; JONEN; IONS; ИОНЫ] 214

IONIZARE [IONIZATION; IONISIERUNG; IONISATION; ИОНИЗАЦИЯ] 215

IREVERSIBIL (Proces) [IRREVERSIBLE PROCESS; NICHT UMKEHRBAR VORGANG; IRRÉVERSIBLE; PROCESSUS; НЕОБРАТИМЫЙ ПРОЦЕСС] . . . 215

IREVERSIBILITATE [IRREVERSIBILITY; IRREVERSIBILITÄT; IRRÉVERSIBILITÉ; НЕОБРАТИМОСТЬ] 223

IZENTALPĂ [LINE OF CONSTANT ENTHALPY; ISOENTALPIE; ISOENTHALPE; ИЗОЭНТАЛЬПА] . . 223

IZOBARĂ [ISOBAR; ISOBARE; ISOBARE; ИЗОБАРА] 224

IZOCORĂ [ISOCHORIC LINE; ISOCHORE; ISOCORE; ИЗОХОРА] . . 227

IZOLANT [INSULATING MATERIAL; ISOLATOR; ISOLANT; ИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ] . 229

IZOLARE HIDROFUGĂ [WATERPROOF ISOLATION; WASSERABSTOSSEND ISOLATION; ISOLATION HYDROFUGE; ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ] 229

IZOLAŢIE TERMICĂ [THERMIC INSULATION; ISOLATION THERMIQUE; THERMISCHE ISOLATION; ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ] 230

Scanned with OKEN Scanner

IZOTERMĂ [ISOTHERM; ISOTHERME; ISOTHERME; ИЗОТЕРМА] . . 234
IZOTROPIE [ISOTROPY; ISOTROPIE; ISOTROPIE; ИЗОТРОПИЯ] . 235

Î

ÎMBIBARE [IMBIBITION; VERBINDUNG; IMBIBITION; ПРОПИТЫВАНИЕ] 236
ÎMBOGĂȚIREA AMESTECULUI [MIXTURE ENRICHING; AUREICHERUNG DES GEMISCHES; L'ENRICHISSEMENT DU MELANGE; ОБОГАЩЕНИЕ СМЕСИ] . . . 237
ÎNĂLȚIME DE POMPARE [PUMPING HEIGHT; AUFPUMPHÖHE; HAUTEUR DE POMPAGE; ВЫСОТА НАПОРА НАСОСА] 237
— Înălțime de pompare geodezică
— Înălțime de pompare statică
— Înălțime de aspirație geodezică
— Înălțime de aspirație
— Înălțime de refulare geodezică
— Înălțime de refulare
ÎNCĂRCAREA MAȘINII TERMICE [THERMIC ENGINE CHARGING; BELASTUNG DER WÄRMEMASCHINE; LE CHARGEMENT DE LA MACHINE THERMIQUE; НАПРЯЖЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ МАШИНЫ] . 239
ÎNCĂLZIRE CU ABUR [STEAM HEATING; DAMPFHEIZUNG; CHAUFFAGE À VAPEUR ; ПАРОВОЕ ОТОПЛЕНИЕ] 239
ÎNCĂLZIRE CU AER CALD [HEAT AIR HEATING; WÄRMLUFTHEIZUNG; CHAUFFAGE À AIR CHAUD; ГОРЯЧЕВОЗДУШНОЕ ОТОПЛЕНИЕ] 239
ÎNCĂLZIRE CU APĂ [WATER HEATING; WASSERHEIZUNG; CHAUFFAGE À EAU; ВОДЯНОЕ ОТОПЛЕНИЕ] 239
ÎNCĂLZIRE CU CĂLDURĂ RECUPERATĂ [RECOVERY HEAT HEATING; WÄRMERUCKGEWINNUNGS HEIZUNG; CHAUFFAGE À CHALEUR RÉCUPÉRÉE; ОТОПЛЕНИЕ ОТХОДЯЩИМ ТЕПЛОМ] 239
ÎNCĂLZIRE CU CĂRBUNI [COAL HEATING; KOHLENHEIZUNG; CHAUFFAGE AUX CHARBONS; КАМЕННОУГОЛЬНОЕ ОТОПЛЕНИЕ] 239
ÎNCĂLZIRE CU GAZE [GAS HEATING; GASHEIZUNG; CHAUFFAGE AUX GAZ; ГАЗОВОЕ ОТОПЛЕНИЕ] 239
ÎNCĂLZITOR [HEATER; HEIZKÖRPER; DISPOSITIF DE CHAUFFAGE; ПОДОГРЕВАТЕЛЬ] 239
ÎNCĂLZIRE TERMICĂ (la cazane cu abur) [THERMIC LOADING (for boilers); THERMISCHE BELASTUNG (des Käsels); CHARGEMENT THERMIQUE (des chaudieres); ТЕПЛОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ (у паровых котлов) 239
— Încărcare termică volumică
— Încărcare termică a suprafeței grătarului
— Încărcare termică a suprafeței de transfer de căldură
ÎNCĂRCĂTURĂ PROASPĂTĂ [FRESH CHARGE; FRIESCHLADUNG; CHARGEMENT FRAIS; СВЕЖНИЙ ЗАРЯД] 239
ÎNCERCARE [TEST; VERSUCH; ESSAI; ИСПЫТАНИЕ] 239
ÎNECAREA MOTORULUI [FLOODING OF THE ENGINE; MOTORPRUFUNG; LE NOYAUTAGE DU MOTEUR; ЗАТОПЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯ] 240
ÎNTÎRZIERE LA APRINDERE [IGNITION DELAY; ZÜNDVERSPÄTUNG; RETARD À L'ALLUMAGE; ЗАПАЗДЫВАНИЕ ЗАЖИГАНИЯ] . 240

J

JET DE COMBUSTIBIL LICHID [LIQUID FUEL JET; FLUSSIGER BRENNSTOFFSTRAHL; JET DE COMBUSTIBLE LIQUIDE; СТРУЯ ЖИДКОГО ТОПЛИВА] 241
— Zona centrală
— Zona periferică (anvelopa jetului)

Scanned with OKEN Scanner

— Finețea pulverizării
— Diametru mediu aritmetic
— Diametru mediu de suprafață
— Diametru mediu de volum
— Diametru mediu Sauter
— Omogenitatea pulverizării
— Penetrația jetului
— Unghiul de dispersie a jetului
— Unghiul de dispersiune δ a jetului
— Unghiul de penetrație L a jetului

JET DE FLUID [FLUID JET; FLUSSIGKEITSSTRAHL; JET DE FLUIDE; СТРУЯ ЖИДКОСТИ] 243
— Curgerea laminară a jetului
— Jet turbulent
— Turbulență liberă
— Stratul limită al jetului
— Miezul jetului
— Bătaia jetului
— Interferență turbulentă
— Difuzia laterală a turbulenței
— Viscozitatea aparentă
— Viscozitatea de fluctuație
— Jeturi rotunde
— Jeturi inelare
— Jeturi coaxiale
— Jeturi plane
— Jeturi cu diferite forme ale sectorului de ieșire
— Jetul orizontal, înclinat, vertical
— Jeturi limitate
— Jeturi izoterme
— Jeturi neizoterme
— Jeturi de aceeași fază
— Jeturi de fază diferită
— Jeturi de aceeași densitate
— Jeturi cu diferență de densitate
— Jeturi înecate
— Jeturi însoțite
— Jeturi în cîmpuri turbionare
— Jeturi turbionate
— Jeturi neturbionate
— Jet liber rotund izoterm
— Zona inițială a jeturilor
— Zona de tranziție a jeturilor
— Zona de bază a jeturilor
— Viteza inițială a jeturilor
— Dimensiunea gurii de formare a jeturilor
— Lungimea zonei inițiale a jeturilor
— Bătaia jetului
— Unghiul de convergență a zonei inițiale a jetului
— Unghiul de evazare a graniței jetului
— Debitul în secțiunea inițială a jetului
— Polul jetului
— Jet plan izoterm
— Jet limitat izoterm
— Jeturi concurente izoterme
— Variația temperaturii axiale la jeturile neizoterme
— Jeturi slab turbionate
— Jeturi mediu turbionate
— Jeturi puternic turbionate
— Zona periferică a jeturilor turbionate
— Zona nucleului central al jeturilor
— Metode de producere a jeturilor turbionate
— Turbionare cu cameră cilindrică cu admisie tangențială
— Turbionare cu cameră melcată cu admisie tangențială
— Turbionatoare cu palete tangențiale
— Turbionatoare cu palete axiale
— Turbionatoare cu palete parțial axiale
— Caracteristicile geometrice ale jeturilor turbionate
— Capacitatea de absorbție a jeturilor
— Influența formei secțiunii de ieșire a turbionatorului asupra caracteristicii aerodinamice a jetului

JICLOR [FUEL-JET NOZZLE; BRENNSTOFFDÜSE; GICLEUR; ЖИКЛЁР] 254
— Jiclor de combustibil
— Jiclor de aer

JOC [CLEARANCE; SPIEL; JEU; ЗАЗОР] 255

— Jocuri de ajustaj
— Jocuri de uzură
— Jocuri funcţionale
JOJĂ [LEVEL ROD; PEGEL; JAUGE; МАСЛОМЕР] 257
JOULE, JAMES PRESCOTT . . . 258
JOULE (Unitate de măsură) [Measure unit; messeinheit; unité de mesure; единица измерения] 258
JOULE-LENZ (Legea) [JOULE-LENZ LAW; JOULE-LENZ GESETZ; LA LOI DE JOULE-LENZ; ЗАКОН ДЖУЛ-ЛЕНЦА] 258
JOULE-THOMSON (Efectul) [JOULE-THOMSON EFFECT; JOULE-THOMSON WIRKUNGSART; L'EFFET DE JOULE-THOMSON; ЕФФЕКТ ДЖУЛ-ТОМСОНА] 258
— Efectul diferenţial Joule-Thomson
— Efectul integral Joule-Thomson
— Lichefierea gazelor; Maşina Linde

K

KAMMERLING, ONNES 260
KELVIN, THOMSON WILLIAM . 260
KEROSEN [KEROSENE; KEROSIN-BRENNÖL; KÉROSÈNE; КЕРОСИН] 260
— Petrol lampant
KILOCALORIE [KILOCALORIE; KILOKALORIE; KILOCALORIE; КИЛОКАЛОРИЯ] 260
— Calorie
— Kilocalorie internaţională
KILOGRAM [KILOGRAM; KILOGRAM; KILOGRAMME; КИЛОГРАММ] 261
— Kilogram internaţional
KILOGRAM FORŢĂ [KILOGRAM-FORCE; KILOPOUND; KILOGRAMME-FORCE; КИЛОГРАММ-СИЛА] 261
KILOGRAM FORŢĂ-METRU [KILOGRAMFORCE METER; KILOPOUNDMETER; KILOGRAMME FORCE-MÈTRE; КИЛОГРАММ-СИЛА МЕТР] 261
KILOGRAM FORŢĂ-METRU PE SECUNDĂ [KILOGRAMFORCE METER PER SECOND; KILOPOUNDMETER PER SEKUNDE; KILOGRAMME-FORCE-MÈTRE PER SECONDE; КИЛОГРАММ-СИЛА МЕТР В СЕКУНДУ] 261
KILOMOL [KILOMOL; KILOMOL; KILOMOLE; КИЛОМОЛ] 261
KILOWATT [KILOWATT; KILOWATT; KILOWATT; КИЛОВАТТ] . 261
KILOWATT-ORĂ [KILOWATT-HOUR; KILOWATTSTUNDE; KILOWATT-HEURE; КИЛОВАТТ-ЧАС] . 261
KNOCKMETRU [KNOCKMETER; KNOCKMETER; KNOCKMETRE; КНОКМЕТР] 262

L

LABIRINT [LABYRINTH; LABYRINTHDICHTUNG; LABYRINTHE; ЛАБИРИНТ] 263
LAC DE RĂCIRE [COOLING LAKE; KÜHLBECKEN; LAC DE REFROIDISSEMENT; ОХЛАЖДАЮЩЕЕ ОЗЕРО] 263
LAGĂR [BEARING; LAGER; COUSSINET; ПОДШИПНИК] . . 263
— Criterii de clasificare
— Materiale antifricţiune
— Lagăre pentru turbine cu abur
— Lagăre pentru motoare cu ardere internă
LAMBERT, JOHANN HEINRICH . 266
LAMBERT (Legea lui) [LAMBERT'S LAW; LAMBERT GESETZ; LA LOI DE LAMBERT; ЗАКОН ЛАМБЕРТА] 266
— Energie radială
— Intensitate de radiaţie
LAMBERT (Unitate de măsură) [measure unit: messeinheit; unité de mesure; единица измерения] . . . 266
— Luminanţă
— Lumen
LAMINAR (Curent) [THROTTLE CURRENT; LAMINARE-SCHICHT STRÖMUNG; COURENT LAMINAIRE; ЛАМИНАРНЫЙ ПОТОК] . 266

Scanned with OKEN Scanner

LAMINARE [THROTTLING; DROSSELVORGANG; LAMINAGE; ДРОСЕЛИРОВАНИЕ] 267
— Coeficient de pierdere locală de presiune
— Energia fluidului
— Efect Joule-Thomson
LA MONT (Cazan) [Boiler; Kessel; Chaudière; Котёл] 269
LAMPĂ [LAMP; LAMPE; LAMPE; ЛАМПА] 269
— Lampa cu flacără luminoasă
— Lampă cu cap incandescent
— Lampă cu combustibil lichid
— Lampă cu benzină
— Lampă cu alcool
— Lampă cu ulei vegetal
— Lampă cu combustibil gazos
— Lampă de joasă presiune
— Lampă de înaltă presiune
— Lampă cu propan
— Lampă cu acetilenă
— Lampă cu gaze de gazeificare
LAPLACE (Ecuația lui) [LAPLACE EQUATION; LAPLACE GLEICHUNG; L'ÉQUATION DE LAPLACE; УРАВНЕНИЕ ЛАПЛАСА] 269
— Funcții armonice
— Funcții olomorfe
— Coeficienții Fourier
— Potențial de viteză
LAPLACE (Operatorul lui) [LAPLACE OPERATOR; LAPLACE KRITERIUM; L'OPERATEUR DE LAPLACE; ОПЕРАТОР ЛАПЛАСА] . . . 272
LAVAL, GUSTAV DE 272
LAVOISIER, ANTOINE LAURENT DE 272
LEGE [LOW; GESETZ, LOI; ЗАКОН] 273
LENOIR, ETIENE 273
LEWIS (Criteriul) [LEWIS CRITERION; LEWIS KRITERIUM; LE CRITÈRE DE LEWIS; КРИТЕРИЙ ЛЬЮИСА] 273
LICHEFIERE [LIQUEFACTION; VERFLÜSSIGUNG; LIQUÉFACTION СЖИЖЕНИЕ] 274
— Lichefiere prin răcire
— Lichefiere prin comprimare
— Procedeul Linde cu o laminare
— Procedeul Linde cu două laminări
— Procedeul Claude
— Procedeul Heylandt
— Procedeul Kapița
— Procedeul de lichefiere a hidrogenului
— Epurarea hidrogenului
— Conversiunea orto-para a hidrogenului
— Producerea frigului adînc
— Procedee de lichefiere a heliului
LICHID [LIQUID; FLÜSSIGKEIT; LIQUIDE; ЖИДКОСТЬ] 280
— Lichid de circulație
— Lichid de frînă 1
— Lichid de frînă 2
— Lichid de răcire și de ungere
LIGNIT [LIGNITE; BRAUNKOHLE; LIGNITE; ЛИГНИТ] 281
— Compoziția chimică a lignitului
— Umiditatea de zăcămînt a lignitului
— Ligniți pămîntoși
— Lignit propriu-zis (xilos)
— Grad de dilatație a lignitului
— Granulația lignitului
— Temperaturile caracteristice de topire a cenușilor lignitului
LIMITĂ (Curbă) [BOUNDARY CURVE; GRENZKURWE; COURBE-LIMITE; ПРЕДЕЛЬНАЯ КРИВАЯ] 282
LIMITĂ DE INFLAMABILITATE [INFLAMABILITY LIMIT; FLAMMGRENZE; LIMITE D'INFLAMMABILITÉ; ПРЕДЕЛ ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТИ] 283
LINDE (Procedeu) [LINDE-PROCESS; LINDE-VERFAHREN; PROCÉDÉ LINDE; СПОСОБ ЛИНДЕ] 283
LINIE DE CÎMP [FIELD LINE; FELDLINIE; LIGNE DE CHAMP; ЛИНИЯ ПОЛЯ] 283
— Cîmp vectorial
LINIE DE CURENT [CURRENT LINE; STRÖMUNGSLINIE; LIGNE DE COURANT; ЛИНИЯ ТОКА] . 283
— Puncte critice
— Suprafață de curent

Scanned with OKEN Scanner

— Tub de curent
— Funcţie de curent
LINIE DE FORŢĂ [FORCE LINE; KRAFTLINIE; LIGNE DE FORCE; СИЛОВАЯ ЛИНИЯ] 284
LINIE DE VÎRTEJ [SWIRL LINE; VIRBELSTRÖMMUNGSLINIE; LIGNE DE TURBULENCE; ВИХРЕВАЯ ЛИНИЯ] 284
— Tub de vîrtej
— Prima teoremă cinematică a lui Helmholtz
— A doua teoremă cinematică a lui Helmholtz
LINIE ENERGETICĂ [ENERGETIC CHAIN; ENERGIELEITUNG; LIGNE ÉNERGÉTIQUE; ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ] 284
— Pantă energetică
LINIE PIEZOMETRICĂ [PIEZOMETRIC LINE; PIEZOELEKTRISCHEMESSANLAGE; LIGNE PIEZOMÉTRIQUE; ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ] 285
— Pantă piezometrică
LIQUIDUS (Linie) [LIQUIDUS CURVE; FLÜSSIGKEIT GRENZE; LIQUIDUS-LIGNE; ЛИНИЯ ЖИДКОСТИ] 285
LIRĂ DE DILATARE [EXPANSION PIPE; AUSDEHNUNGSKRUMMER; COUDE DE DILATATION; КОМПЕНСИРУЮЩЕЕ КОЛЕНО] . . . 285
LOCOMOTIVĂ [LOCOMOTIVE; LOKOMOTIVE; LOCOMOTIVE; ЛОКОМОТИВ] 286
LOCOMOTOR [GASOLINE LOCOMOTIVE; VERSCHIEBELOKOMOTIVE; LOCOMOTEUR; ЛОКОМОТОР] 286
LOCOTRACTOR [LOCOTRAKTOR; KLEINLOKOMOTIVE; LOCOTRACTEUR; МОТОВОЗ] 286
LOMONOSOV, MIHAIL VASILIEVICI 286
LUCRU MECANIC [MECHANICAL WORK; MECHANISCHE ARBEIT; TRAVAIL MÉCANIQUE; РАБОТА] 286
— Lucru mecanic al variaţiei de volum
— Lucru mecanic de dislocare (deplasare)
— Lucru mecanic tehnic
LUNGSTROM (TURBINĂ) [TURBINE; TURBINE; TOURBINE; ТУРБИНА] 289

M

MACH (Număr) [MACH NUMBER; MACH ZAHL; NUMÉRO DE MACH; ЧИСЛО МАХА] 290
— Conul Mach
— Unghiul Mach
— Linia Mach sau unda Mach
MACH (Număr magnetic) [MACH-MAGNETIC NUMBER; MACH-ZAHL MAGNETISMUS; NUMÉRO MAGNÉTIQUE DE MACH; МАГНИТНОЕ ЧИСЛО МАХА] 290
MACROMOLECULĂ [MACROMOLECULE; MACROMOLEKULE; MACROMOLÉCULE; МАКРОМОЛЕКУЛА] 290
— Unităţi structurale sau unităţi monomere
— Macromolecule liniare
— Macromolecule ramificate
— Macromolecule reticulare
— Polimeri sintetici
MACROSCOPIC [MACROSCOPIC; MAKROSCOPISCH; MACROSCOPIQUE; МАКРОСКОПИЧЕСКИЙ] . . 291
MAGNETOU [MAGNETO; MAGNETTOGERÄT; MAGNÉTO; МАГНЕТО] 291
— Magnetou cu magnet permanent în rotor
— Magnetou cu indus rotitor
— Magnetou cu comutatoare magnetice
MANOMETRU [MANOMETER; MANOMETER; MANOMÈTRE; МАНОМЕТР] 291
— Manometru hidrodinamic
— Manometru hidrostatic
— Priză de presiune
— Măsurarea presiunii fluidelor în repaus
— Măsurarea presiunii fluidelor în mişcare
— Sonde de presiune statică Prandtl

Scanned with OKEN Scanner

— Şaibă de presiune
— Sonde de presiune totală
— Sonda Kiel
— Sonda Dines
— Vacuumetru
— Manovacuumetru
— Manometru diferenţial
— Manometru etalon
— Manometru model
— Manometru de lucru
— Manometru cu lichid
— Manometre metalice
— Manometre dinamice
— Manometre termofizice
— Tub piezometric
— Manometru cu tub U
— Manometru cu o singură ramură
— Micromanometru cu tub înclinat
— Manometru diferenţial cu tub în formă de U întors
— Micromanometru compensator Ascania
— Manometre metalice
— Manometre cu resort tubular tip Bourdon
— Tuburi Bourdon polispiralate
— Manometru cu semnalizare electrică
— Manometru cu membrană
— Manometru cu burduf
— Manometru cu capsulă
— Traductoare
— Traductoare capacitive
— Traductoare inductive
— Traductoare tensometrice
— Traductoare piezoelectrice
— Traductoare rezistive
— Manometru cu piston
— Manometru diferenţial inelar
— Manometru diferenţial cu clapete
— Manometru termic
— Manometru cu termocuplu
— Manometru cu ionizare

MANTA DE PISTON [PISTON SKIRT; KOLBENMANTEL; JUPE DE PISTON; ЮБКА ПОРШНЯ] . 297
— Manta rece
— Pistoane autotermice

MARIOTTE (Legea) [v. Boyle (legea)]

[MARIOTTE'S LAW; MARIOTTE GESETZ; LA LOI DE MARIOTTE; ЗАКОН МАРИОТТА] 299

MASA [MASS; MASSE; MASSE; МАССА] 299
— Masă gravitaţională
— Masă inertă
— Masă energie
— Legea conservării masei
— Legea acţiunii masei

MASĂ CRITICĂ [CRITICAL MASS; KRITISCHE MASSE; MASSE CRITIQUE; КРИТИЧЕСКАЯ МАССА] . . 300

MAŞINĂ CU ABUR (STEAM ENGINE; DAMPFMASCHINE; MACHINE À VAPEUR; ПАРОВАЯ МАШИНА] 300
— Timpul de admisie (gradul)
— Distribuţie cu sertar plan
— Maşină cu abur cu admisie totală
— Maşină cu abur cu simplu efect
— Maşină cu abur cu dublu efect
— Maşină cu abur lentă
— Maşină cu abur rapidă
— Maşină cu abur stabilă
— Maşină cu abur semistabilă
— Maşină cu abur mobilă
— Maşină cu abur cu destindere limită
— Maşină cu abur cu expansiune fracţionată
— Maşină cu abur cu un singur cilindru (monocilindrică)
— Maşină cu abur saturat
— Maşină cu abur supraîncălzit
— Maşină cu abur cu emisie în atmosferă (emisie liberă)
— Maşină cu abur cu condensaţie
— Maşină cu abur cu contrapresiune
— Maşină cu abur de joasă presiune
— Maşină cu abur de înaltă presiune
— Maşină cu abur cu distribuţie cu robinete oscilante (Corlis)
— Maşină cu abur cu distribuţie cu sertare
— Maşină cu abur cu distribuţie cu supape

Scanned with OKEN Scanner

— Maşină cu abur cu echicurent
— Maşină cu abur cu prelevare de abur

MAŞINĂ FRIGORIFICĂ [REFRIGERATING ENGINE; KÄLTEMASCHINE; MACHINE FRIGORIFIQUE; ХОЛОДИЛЬНАЯ МАШИНА] . . . 305

MAŞINĂ TERMICĂ (v. Motor termic) [THERMIC ENGINE; WÄRMEMACHINE; MACHINE TERMIQUE; ТЕПЛОВАЯ МАШИНА] 305

MATERIAL FISIONABIL [FISIONABLE MATERIAL; SPALTSTOFF MATERIE; MATÉRIEL FISSIONABLE; ДЕЛЯЩЕЕСЯ ВЕЩЕСТВО] 305

MATERIE [MATTER; MATERIE; MATIÈRE; ВЕЩЕСТВО] 306
— Materie activă
— Materie fundamentală
— Materie primă
— Materie volatilă
— Materie colorantă

MAXVELL, JAMES CLERK . . . 306

MAYER, ROBERT VON 306

MAZUT [FUEL OIL; ERDÖL; MASOUT; МАЗУТ] 306

MĂRIME DE STARE [STATE QUANTITY; GESTALTSGROSSE; GRANDEUR D'ÉTAT PHYSIQUE; ПАРАМЕТР СОСТОЯНИЯ] 306
— Stare macrofizică
— Stare de echilibru
— Mărimi de stare exterioare
— Mărimi de stare interne
— Mărimi de stare cantitative sau exterioare sau aditive
— Mărime de stare termică
— Mărimi de stare fundamentale

MECANISM BIELĂ-MANIVELĂ [CRANK MECHANISM; KURBELTRIEB; MÉCANISME BIELLE-MANIVELLE; КРИВОШИПНО-ШАТУННЫЙ МЕХАНИЗМ] 307

MECANISM DE DISTRIBUŢIE [DISTRIBUTION DEVICE; STEUERUNG; MÉCANISME DE DISTRIBUTION; РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ] 308
— Mecanism de distribuţie la motoare cu ardere internă
— Mecanism de distribuţie de tipul cu supapă
— Mecanism de distribuţie prin lumini
— Mecanism de distribuţie pentru maşinile cu abur
— Mecanism de distribuţie cu contramanivelă

MEDIU [MEDIUM; MEDIUM; MILIEU; СРЕДА] 309

MENISC [MENISCUS; MENISKUS; MENISQUE; МЕНИСК] 309

METAN [METHANE; METHAN; MÉTHANE; МЕТАН] 309
— Gazul de baltă
— Gazele de cocserie
— Gazul grizu

METANOL [METHYL ALCOHOL; METHANOL; MÉTHANOL; МЕТАНОЛ] 309
— Spirt de lemn
— Alcool metilic

METRU CUB NORMAL [NORMAL CUBIC METER; NORMAL KUBIKMETER; NORMAL MÈTRE CUBE; КУБИЧЕСКИЙ МЕТР ПРИ НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ] 310

MEURER (Cameră de ardere) [MEURER COMBUSTION CHAMBER; MEURER-VERBRENNUNGSRAUM; CHAMBRE DE COMBUSTION MEURER; КАМЕРА СГОРАНИЯ МЁРЕР] 310
— Procedeu de ardere „M"

MICROBAR [MICROBAR; MIKROBAR; MICROBAR; МИКРОБАР] . 310
— Barie

MICULESCU, CONSTANTIN . . . 311

MILIMETRU COLOANĂ DE FLUID (APĂ, MERCUR) [WATER (MERCURY) COLUMN MILIMETER; MILIMETER WASSERSAULE (QUECKSILBER); MILIMÈTRE COLONNE D'EAU (MERCURE); МИЛИМЕТР ВОДЯНОГО (РТУТНОГО) СТОЛБА] 311
— Milimetru coloană de mercur
— Milimetru coloană de apă

Scanned with OKEN Scanner

MIŞCARE [MOTION; BEWEGUNG; MOUVEMENT; ДВИЖЕНИЕ] . . 311
— Mişcare absolută
— Mişcare relativă
— Mişcare de antrenare, transport, tîrîre
— Mişcare uniformă
— Mişcare uniform variată
— Mişcare de înaintare, de lucru
— Mişcare de perturbaţie
— Mişcarea punctului material
— Mişcarea sistemelor de puncte materiale
— Mişcarea corpului rigid
— Mişcarea mediilor continue
— Mişcare liberă
— Mişcare forţată
— Mişcare potenţială

MIŞCAREA ALTERNATIVĂ A PISTONULUI [ALTERNATING PISTON MOTION; HIN und HER GEHENDE KOLBENBEWEGUNG; MOUVEMENT ALTERNATIF DU PISTON; ПЕРЕМЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ ПОРШНЯ] 311

MIŞCARE BROWNIANĂ [BROWNIAN MOVEMENT; BROWNISCHE BEWEGUNG; MOUVEMENT BROWNIEN; БРОУНОВСКОЕ ДВИЖАНИЕ] 311

MIŞCARE LAMINARĂ; MIŞCARE TURBULENTĂ [THROTTLING MOTION — TURBULENT MOTION; LAMINARE STRÖMUNG — VIRBEL STRÖMUNG; MOUVEMENT LAMINAIRE — MOUVEMENT TURBULENT; ЛАМИНАРНОЕ ДВИЖЕНИЕ — ТУРБУЛЕНТНОЕ ДВИЖЕНИЕ] 311
— Vîscozitate dinamică
— Vîscozitate cinematică
— Curgere în regim laminar
— Curgere în regim turbulent
— Pulsaţiile spaţiale ale vitezei
— Viteză instantanee
— Viteză medie temporală
— Grad de turbulenţă
— Pulsaţia vitezei
— Mişcare de amestec
— Reynolds critic
— Viteza critică
— Regim stabilizat de mişcare laminară
— Regim stabilizat de mişcare turbulentă
— Coeficientul lui Darcy
— Substrat laminar
— Substrat de tranziţie
— Substrat turbulent

MIŞCARE MOLECULARĂ [MOLECULAR MOUVEMENT; MOLECULAR BEWEGUNG; MOUVEMENT MOLÉCULAIRE; МОЛЕКУЛЯРНОЕ ДВИЖЕНИЕ] 315

MIŞCARE PERMANENTĂ; MIŞCARE NEPERMANENTĂ [STADY STATE MOVEMENT — UNSTADY STATE MOVEMENT; DAUERBEWEGUNG — UNERBROCHENE BEWEGUNG; MOUVEMENT PERMANENT — MOUVEMENT INTERMITTENT; УСТАНОВИВШЕЕСЯ ДВИЖЕНИЕ — НЕУСТАНОВИВШЕЕСЯ ДВИЖЕНИЕ] 315
— Metoda Lagrange
— Metoda Euler
— Ecuaţiile Navier-Stokes
— Ecuaţiile continuităţii

MKfs [MK_fS; MK_pS; MK_fS; $MK_\Phi C$] 317

MKS [MKS; MKS; MKS; MKC] . . 317

MODELARE [MODELLING; MODELBAUER; MODELAGE; МОДЕЛИРОВАНИЕ] 317
— Model simil
— Prima teoremă a similitudinii
— A II-a teoremă a similitudinii
— A III-a teoremă a similitudinii

MODERATOR [MODERATOR; MODERATOR; MODERATEUR; ЗАМЕДЛИТЕЛЬ] 318
— Secţiune eficace microscopică

MOL [MOL; MOL; MOLE; МОЛЬ] 318

MOLECULĂ [MOLECULE; MOLEKULE; MOLÉCULE; МОЛЕКУЛА] 318
— Legături covalente
— Legături coordinative
— Legături electrovalente
— Molecule nepolare
— Legătură ionică

MOLLIER (Diagrama pentru aer umed (h—x) [MOLLIER MOIST AIR

Scanned with OKEN Scanner

DIAGRAMM; MOLLIER-LUFT-FEUCHTIGKEITSDYAGRAMM; LA DIAGRAMME MOLLIER POUR AIR HUMIDE; МОЛЬЕ — ДИАГРАММА ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА] 319

MOLLIER (Diagrama pentru vapori de apă h—s) [MOLLIER WATER STEAM DIAGRAMM; MOLLIER WASSERDAMPFEDYAGRAMM; LA DIAGRAMME MOLLIER POUR VAPEURS D'EAU; МОЛЬЕ — ДИАГРАММА ВОДЯНОГО ПАРА] . . 319

MOLLIER (Tabelele lui) [MOLLIER'S TABLES; MOLLIER TABELLEN; LES TABLEAUX DE MOLLIER; ТАБЛИЦЫ МОЛЬЕ] 320

MOMENT [TORQUE; MOMENT; COUPLE; MOMENT] 320

— Moment admisibil
— Moment al unei forțe în raport cu o axă
— Moment al unei forțe în raport cu un plan
— Moment cinetic
— Moment motor

MOTOCOMPRESOR [MOTOR-COMPRESSOR; MOTOKOMPRESSOR-ANLAGE; MOTOCOMPRESSEUR; МОТОКОМПРЕССОР] 321

MOTOPOMPA [MOTOR-PUMP; MOTORPUMPE; MOTOPOMPE; МОТОПОМПА] 321

— Electropompă
— Motopompă stabilă
— Motopompă transportabilă

MOTOR CU ABUR CU ROTOR [ROTOR STEAM ENGINE; DAMPFMOTOR MIT ROTOR; MOTEUR À VAPEUR À ROTEUR; РОТОРНОПАРОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ] 321

MOTOR CU AER CALD CU PISTON [HOT AIR PISTON ENGINE; WÄRMELUFTMOTOR; MOTEUR À AIR CHAUD À PISTON; ВОЗДУШНЫЙ ПОРШНЕВОЙ ДВИГАТЕЛЬ] 321

MOTOR CU APRINDERE PRIN COMPRIMARE [COMPRESSION IGNITION ENGINE; MOTOR MIT SELBSTZÜNDUNG; MOTEUR À ALLUMAGE PAR COMPRESSION; ДВИГАТЕЛЬ С САМОВОСПЛАМЕНЕНИЕМ] 321

MOTOR CU APRINDERE PRIN SCÎNTEIE [SPARK IGNITION ENGINE; ZÜNDKERZENMOTOR; MOTEUR À ALLUMAGE COMMANDÉ; ДВИГАТЕЛЬ С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ВОСПЛАМЕНЕНИЕМ] . . . 321

— Ciclul teoretic al motorului cu aprindere prin scînteie
— Parametrii caracteristici ai motorului cu aprindere prin scînteie
— Randamentul termodinamic al ciclului
— Ciclul real al motorului cu aprindere prin scînteie
— Randamentul indicat al ciclului real
— Randamentul efectiv al ciclului real
— Caracteristicile procesului de ardere în motoarele cu aprindere prin scînteie
— Bilanțul termic al motorului cu aprindere prin scînteie
— Clasificarea motoarelor cu aprindere prin scînteie

MOTOR CU APRINDERE PRIN SUPRAFAȚĂ CALDĂ [HOT BULB ENGINE; GLUHKOPFMOTOR; MOTEUR À ALLUMAGE PAR SURFACE CHAUDE; ДВИГАТЕЛЬ СМЕШАННОГО СГОРАНИЯ] . . . 326

— Ciclul teoretic al motorului cu aprindere prin suprafață caldă
— Parametrii caracteristici ai ciclului teoretic
— Randamentul termodinamic al ciclului

MOTOR CU ARDERE EXTERNĂ [EXTERNAL COMBUSTION ENGINE; MOTOR MIT AUSSERER VERBRENNUNG; MOTEUR À COMBUSTION EXTERNE; ДВИГАТЕЛЬ ВНЕШНЕГО СГОРАНИЯ] 328

Scanned with OKEN Scanner

MOTOR CU ARDERE INTERNĂ (INTERNAL COMBUSTION ENGINE; VERBRENNUNGSMOTOR; MOTEUR À COMBUSTION INTERNE; ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ] 328
— Motoare cu ardere internă cu piston
— Motoare cu ardere internă cu rotor
— Motoare în doi timpi
— Motoare în patru timpi
— Motoare cu piston acţionat simplu (motoare cu simplu efect)
— Motoare cu piston acţionat dublu (motoare cu dublu efect
— Motoare lente; motoare rapide
— Motoare cu piston portant
— Motoare cu cap de cruce
— Motoare axate
— Motoare dezaxate
— Motoare în linie
— Motoare în V
— Motoare cu cilindri opuşi (motoare Boxer)
— Motoare în evantai
— Motoare în X
— Motoare în stea
— Motoare cu două rînduri de cilindri
— Motoare în H
— Motoare cu cilindri jumelaţi
— Motoare cu pistoane opuse

MOTOR HIDRAULIC [HYDRAULIC MOTOR; HYDRAULISCHER MOTOR; MOTEUR HYDRAULIQUE; ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ] 332
— Motor hidraulic cu piston
— Turbină hidraulică
— Turbină Pelton
— Turbină Francis
— Turbină Kaplan

MOTOR CU PISTON ROTATIV [ROTARY PISTON ENGINE; DREHKOLBENMOTOR; MOTEUR À PISTON ROTATIF; РОТОРНО-ПОРШНЕВОЙ ДВИГАТЕЛЬ] 332

MOTOR DE PORNIRE [STARTING ENGINE; ANLASSMOTOR; DÉMAREUR; ПУСКОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ] 332

MOTOR TERMIC [THERMIC ENGINE; WÄRMEMOTOR; MOTEUR THERMIQUE; ТЕПЛОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ] 332

MOTORINĂ [GAS-OIL; DIESEL BRENNSTOFF; GAZOLE; ГАЗОЙЛЬ] 333

MULTICICLON [MULTICYCLONE; MULTIZYKLON; MULTICYCLONE; МУЛЬТИЦИКЛОН] 333

N

NECESAR DE CĂLDURĂ [NECESSARY QUANTITY OF HEAT; NOTIGE WÄRMEMENGE; NECESSAIRE DE CHALEUR; ПОТРЕБНОСТЬ В ТЕПЛЕ] 334

NERNST (Teorema lui) [NERNST'S THEOREM; NERNST SATZ; LA THEORÈME DE NERNST; ТЕОРЕМА НЕРНСТА] 334
— Principiul al treilea al termodinamicii
— Ecuaţia Gibbs-Helmholtz
— Teorema căldurii
— Postulatul lui Plank
— Principiul de nedeterminare al lui Heisemberg

NERVURĂ [RIB; RIPPE; NERVURE; РЕБРО] 336
— Nervuri monobloc cu piesa
— Nervuri separate de piesă şi montate pe ea
— Nervuri continue
— Nervuri întrerupte
— Nervuri de rezistenţă
— Nervuri de rigidizare
— Nervuri de încălzire
— Aripioare de încălzire
— Nervuri de răcire
— Nervuri cu secţiune rectangulară
— Nervuri cu secţiune circulară
— Nervuri late
— Nervuri trapezoidale

Scanned with OKEN Scanner

— Nervuri cu profil triunghiular
— Nervuri tronconice

NEUNIFORMITATEA INJECȚIEI [INJECTION NONUNIFORMITY; UNIFORMIGKEIT DES EINSPRITZSTRAHLES; NEUNIFORMITÉ DE L'INJECTION; НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ВПРЫСКА] 338
— Doza de combustibil
— Gradul de neuniformitate

NEUMAN, FRANZ ERNEST . . . 339

NEUTRON [NEUTRON; NEUTRON; NEUTRON; НЕЙТРОН] 339
— Interacțiunea neutronilor cu materia
— Reacțiile de împrăștiere
— Reacții de împrăștiere elastică
— Reacții de împrăștiere neelastică
— Neutroni termici
— Neutroni de absorbție
— Captura radioactivă
— Fisiunea
— Neutroni rapizi
— Neutroni termici
— Neutroni epitermici
— Neutroni prompți
— Neutroni întîrziați

NEWTON (Unitate de măsură) [NEWTON-MEASURE UNIT; NEWTON-MESSEINHEIT; NEWTON-UNITÉ DE MESURE; НЬЮТОН — ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ] 340

NEWTON, ISSAC 340

NIVEL [LEVEL; NIVEAU; NIVEAU; УРОВЕНЬ] 340
— Nivel hidrostatic
— Nivel piezometric
— Nivel de intensitate acustică
— Nivel de intensitate auditivă
— Nivel de presiune acustică

NIVEL DE ENERGIE [ENERGY LEVEL; ENERGIENIVEAU; NIVEAU D'ÉNERGIE; ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ] 341
— Nivel de energie al electronului
— Nivel de energie al atomului
— Nivel de energie fundamental (normal)
— Nivel de energie excitant
— Nivel de energie de rezonanță
— Nivel de energie metastabil
— Nivel de energie Fermi

NIVELMETRU [LEVELMETER; NIVELLIERINSTRUMENT; NIVELMÈTRE; УРОВНЕМЕР] 341
— Metode de măsură directă
— Metode de măsură indirectă
— Nivelmetru cu plutitor
— Nivelmetru magnetic
— Nivelmetru hidrostatic
— Nivelmetru ultrasonic
— Nivelmetru cu radiație
— Nivelmetru electronic
— Nivelmetru electronic cu electrozi de probă
— Nivelmetru capacitiv
— Nivelmetru cu raze gama
— Nivelmetru capacitiv
— Nivelmetru cu contact electric

NOMOGRAMĂ [NOMOGRAM; NOMOGRAM; NOMOGRAMME; НОМОГРАММА] 343
— Nomogramă pentru două mărimi variabile
— Nomogramă pentru trei mărimi variabile
— Nomogramă pentru mai multe mărimi variabile
— Nomogramă cu două puncte aliniate
— Nomograme reticulare
— Nomograme mixte
— Nomograme cu scări funcționale
— Nomograme simple
— Nomograme complexe
— Nomogramă auxiliară
— Nomogramă cu puncte aliniate
— Nomograme parțiale
— Nomogramă reticulară
— Nomogramă scară funcțională

NUCLEU [NUCLEUS; KERN; NOYAU; ЯДРО] 344
— Număr atomic
— Numărul de masă
— Nucleu izotop
— Nucleu izobar
— Nucleu izomer

Scanned with OKEN Scanner

— Defect de masă
— Energia de legătură a nucleului
— Ecuația Einstein
— Spin nuclear
— Forțe de gravitație
— Forțe electrice coulombiene
— Forțe magnetice
— Forțe nucleare
— Stabilitatea unui nucleu
— Numere magnetice
— Stabilitatea specială a nucleului
— Radioactivitatea

NUSSELT v. Similitudine (Criterii) 346

BIBLIOTECA JUDEȚEANĂ „GH. ASACHI" IAȘI

Scanned with OKEN Scanner

Control științific: Prof dr. docent ing. **Bazil Popa**
Redactor: **Rodica Dinu**
Tehnoredactor: **Victoria Ungureanu**
Coperta și supracoperta: **Constantin Guluță**

Bun de tipar: 29.V.87.
Coli de tipar: 23,25
C.Z. 621.036+62–84(03).

Tiparul executat sub com. nr. 50/1987 la Întreprinderea poligrafică „Crișana", Oradea, str. Leontin Sălăjan, 105
Republica Socialistă România.

Scanned with OKEN Scanner